

n° 774

**TRAVAUX
SOUTERRAINS**

- Le tunnel du Mont-Blanc
- Le tunnel de Foix
- Le tunnel du Pannerdensch Kanaal
- Le projet LHC (*Large hadron collider*) du CERN
- Le collecteur de décharge du Pantin-La-Briche
- Matériels et produits utilisés en travaux souterrains

OUVRAGES D'ART

- Le viaduc de Verrières
- Un pont mixte entre Triel et Vernouillet
- Un nouveau pont sur la Liane à Boulogne-sur-Mer
- EPA Sénart. Ouvrage de franchissement des voies ferrées
- Une passerelle métallique pour la gare du Futuroscope à Poitiers
- Une nouvelle passerelle sur le Cher à Tours

Travaux souterrains Ouvrages d'art



Travaux

numéro 774

avril 2001

Travaux souterrains - Ouvrages d'art



Notre couverture

Tunnel du Mont-Blanc
Foration des carreaux
de désenfumage

© Ch. Huret

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 0144133144

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 024118 11 41
Fax : (33) 024118 11 51
E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 0144648420

VENTES ET ABBONNEMENTS

Sylvaine Prot
RGRA
9, rue Magellan - 75008 Paris
Tél. : (33) 0140738005
E mail : revue travaux@wanadoo.fr

France : 950 FF TTC
Etranger : 1150 FF
Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 0144748636

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (Copyright by Travaux). Ouvrage protégé; photocopie interdite, même partielle (loi du 11 Mars 1957), qui constituerait contrefaçon (Code pénal, article 425).

Éditions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259

Éditorial

Daniel Tardy

actualités

matériels

PRÉFACE

Yann Leblais

TRAVAUX SOUTERRAINS

◆ Le tunnel du Mont-Blanc. Le point sur le chantier de la concession française
- *The Mont-Blanc tunnel. Status of works on French concession*

Direction de la communication ATMB

◆ Le tunnel de Foix. Modification d'un tunnel neuf avant son ouverture
- *The Foix tunnel. Modification of a new tunnel before its opening*

M. Vetter

◆ Le tunnel du Pannerdensch Kanaal. Le premier tunnel foré français aux Pays-Bas
- *The Pannerdensch Kanaal tunnel. The first French-bored tunnel in the Netherlands*

E. Paillas, H. Mortier, Fr. Dudouit, Fr. Renault

◆ Le projet LHC (*Large hadron collider*) du CERN - Lot 3A
- *The CERN LHC project - Lot 3A*

G. Petard, G. Vertut, P. Roux, R. Nogues

◆ Collecteur de décharge du Pantin-La-Briche. Un premier tronçon à Aubervilliers (93)
- *Pantin-La-Briche sewer main. First section at Aubervilliers (Seine-Saint-Denis region)*

Ch. Boissenot

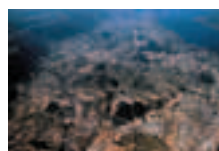
OUVRAGES D'ART

◆ Le viaduc de Verrières
- *The Verrières viaduct*

G. Gillet

◆ Franchissement de la Seine. Un pont mixte entre Triel et Vernouillet
- *Crossing the Seine. A composite bridge between Triel and Vernouillet*

V. Avrillon



Sommaire

avril 2001

Travaux souterrains - Ouvrages d'art

Dans les prochains numéros

Sols et fondations

Routes

Terrassements

Environnement

Tunnel de Toulon

Réhabilitation - Réparation d'ouvrages

International

Ponts



◆ Un nouveau pont sur la Liane à Boulogne-sur-Mer
- A new bridge over the Liane at Boulogne-sur-Mer
Ph. Matière, S. Lestrade

57



◆ EPA Sénart. Voie de liaison entre le boulevard extérieur de Lieusaint et la voie M4. Ouvrage de franchissement des voies ferrées
- EPA Sénart. Connecting road between the outer boulevard of Lieusaint and line M4. Bridge over the railway tracks
Cl. Fritz

61



◆ Construction d'une passerelle métallique pour la gare du Futuroscope à Poitiers
- Construction of a steel walkway for the Futuroscope station in Poitiers
Fr. Charmasson

65



◆ Une nouvelle passerelle sur le Cher à Tours
- A new footbridge over the Cher in Tours
Ph. Matière, S. Lestrade

71

◆ Matériels et produits utilisés en travaux souterrains
- Equipment and products used in underground works

75

sécurité

91

marché

93

formation

95

ABONNEMENT TRAVAUX

répertoire

98

des fournisseurs

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

ATLAS COPCO.....2È DE COUVERTURE	IHC.....8
BEKAERT.....7	MONTCOCOL.....12
CAP.....2	SEVA FIBRAFLEX.....9
CNETP.....6	SOLETANCHE BACHY.....11
CONGRÈS OSAKA.....4	SOTRES.....11
EIFFAGE TP.....4È DE COUVERTURE	WEBER.....10
EXPLO-TECH.....12	

Ce numéro de la revue *Travaux* est consacré aux travaux souterrains. C'est le septième du genre alors que la conjoncture dans ce secteur est morose depuis trois ans. Serait-ce l'enfant des habitudes ? Ma réponse est résolument négative car il est lié à la toujours grande importance de ce secteur, sinon en volume, mais en valeur ajoutée technique et opérationnelle pour l'activité des travaux publics.

Je ne ferai pas l'état des travaux prévus en France et la comparaison habituelle avec nos voisins européens puisque j'interviens ici comme président du Comité technique de l'AFTES. J'en profiterai plutôt pour insister sur les conditions d'évolution du secteur. Dans un monde qui s'ouvre de plus en plus, il me semble toujours plus important que le savoir-faire français en matière de souterrains continue à se développer et que ce savoir diffuse en France et à l'étranger. Voyons ce qu'il en est à travers quelques exemples :

- ◆ en juin 1999, à cette même place, Bernard Falconnat s'inquiétait à juste titre de la quasi absence des entreprises françaises dans le domaine des tunneliers de très grands diamètres, supérieurs à 12 ou 13 m. Je note que Bouygues et NFM travaillent d'arrache-pied à la construction du tunnelier du Groene Hart aux Pays-Bas (14,87 m de diamètre). Par ailleurs le tunnelier de Socatop pour l'A86 est à pied d'œuvre, sans oublier la forte implication des entreprises françaises dans les récentes consultations en Europe ;
- ◆ les drames des accidents en tunnel en 1999 ont conduit à une large prise de conscience du caractère particulier de ces ouvrages. Un travail considérable a été mené sous l'égide de l'Etat, garant de la sécurité des citoyens. Il a conduit en août 2000 à la parution d'une circulaire interministérielle relative à la sécurité dans les tunnels routiers ;

- ◆ le projet national de recherche Eupalinos animé par l'AFTES arrive à son terme. Des travaux importants ont été menés sur trois axes principaux : l'amélioration de la reconnaissance du terrain et du pilotage des tunneliers, la maîtrise du confinement du terrain et les progrès des méthodes de dimensionnement. De nombreux enseignements tirés de ces travaux sont déjà en application sur les chantiers et, de plus, de nouveaux contacts ont été créés avec le monde de la recherche appliquée ;

- ◆ le Comité technique de l'AFTES continue à élaborer et éditer de nombreuses recommandations de grande qualité. Plus de trois cents acteurs bénévoles font vivre vingt-et-un groupes de travail. Leur production est unique au monde et j'indique aux lecteurs intéressés que les traductions en anglais de ces recommandations sont accessibles sur le site de l'association.

Le développement continue donc ! Que nous manquerait-il alors ?

L'art du souterrain est fait de retours d'expérience sur le comportement des terrains, des machines et des hommes mais aussi sur le comportement des constructions existant au voisinage des ouvrages en cours de creusement et sur celui des ouvrages eux-mêmes tout au long de leur vie. A ce jour cette expérience de chantier me semble moins bien digérée et accessible que par le passé.

En effet, les grands maîtres d'ouvrage consacraient de l'énergie à l'accumulation de ce savoir en interne et à sa restitution à la communauté des acteurs du secteur. Aujourd'hui, la séparation de la maîtrise d'œuvre – dont je ne me plaindrai pas comme président d'un groupe d'ingénierie – ne s'accompagne pas toujours chez les maîtres d'ouvrage des budgets nécessaires à la syn-

thèse des travaux et encore moins de la volonté de la mettre à la disposition de la collectivité. La logique est la même du côté des entreprises où chacun a tendance à garder jalousement ses données, au nom de son savoir-faire. A contrario, beaucoup de pays étrangers et non des moindres consacrent des moyens publics à la restitution de cette expérience. Je salue ici les récentes orientations données au CETU qui vont dans ce sens pour les ouvrages routiers de l'Etat. Cette piste n'est-elle pas à suivre pour tous les ouvrages ? Pour ce faire, j'identifie deux niveaux. Le premier est à l'échelle de chaque opération publique dont le marché comporterait l'obligation rémunérée de rédiger une note de synthèse des travaux et un article commun aux parties à publier dans un délai d'un an. Le second, plus général, pourrait mobiliser des moyens publics et privés autour de l'AFTES pour élaborer et diffuser des synthèses pour tous les types d'ouvrages.

Dans les ouvrages souterrains plus qu'ailleurs, sans doute du fait de la prédominance du terrain, contrainte imparfaitement cernée lors de la définition

de l'ouvrage, le succès résulte de la bonne jonction de la technique et des hommes mais aussi des ressources économiques disponibles et des règles contractuelles. Or les questions en suspens sont encore nombreuses et importantes :

- ◆ comment sera déclinée pour les travaux souterrains la détermination de "l'offre économiquement la plus avantageuse", selon les termes du projet de décret portant réforme du code des marchés publics ?
- ◆ n'est-il pas temps de remettre en chantier le fascicule 69 du CCTG, en commençant par la remise à plat du mémoire de synthèse du dossier géologique géotechnique et hydrogéologique et de ses pièces annexes, contractuelles ou non selon les marchés ?

- ◆ quel processus contractuel équilibré faut-il mettre au point pour éviter ces réclamations interminables dans lesquelles les parties usent une énergie toujours plus grande ?

Pour faire évoluer ces préoccupations bien françaises mais déjà si influencées par l'Europe, il faut évidemment regarder à l'extérieur. L'ouverture au monde et

la mise en commun des expériences de, et à, l'étranger sont indispensables. Elles sont profitables à tous les acteurs et peut-être encore plus aux maîtres d'ouvrage qui, par logique territoriale même, ne sont pas confrontés à l'extérieur sauf exception notable. Comment peut-on organiser veille et osmose dans l'intérêt collectif ?

Pour terminer, je rappelle que le congrès de l'AFTES de 1999 avait pour slogan "Ambition et Réalité", signe de ces interrogations propres aux périodes de transition. Celui de 2002 en préparation portera sur "Les ouvrages souterrains : des ouvrages qui vivent" ; ce titre est plus serein en ce qu'il intègre à côté des ouvrages neufs, la nouvelle donne dans notre pays : entretenir les ouvrages existants et les faire évoluer en fonction des exigences des usagers et des exploitants, en matière de sécurité par exemple. J'encourage ceux que j'aurai pu convaincre de la non vanité de partager leur expérience à remettre un résumé de communication avant le mois d'octobre 2001.

En tout dernier lieu, je veux dire aux plus jeunes qui entrent dans la profession des travaux publics que les travaux souterrains sont et resteront un secteur de profondes satisfactions professionnelles et humaines, dans un environnement où l'emploi des technologies modernes est omniprésent mais relativisé par les mystères du terrain.



■ **YANN LEBLAIS**

Président du Comité technique de l'AFTES

Le tunnel du Mont-Blanc

Le point sur le chantier française

Les travaux actuellement en cours dans le tunnel franco-italien du Mont-Blanc ont pour objectif de mettre l'édifice en conformité avec la nouvelle réglementation. Ces travaux de génie civil concernent principalement le poste central de sécurité, les carreaux de désenfumage, les abris, les niches de sécurité, les réservoirs incendie et les fosses pour les ventilateurs d'extraction.

Autre chantier de taille : la mise en place de la gestion technique centralisée (GTC). Relié à l'ensemble des équipements de sécurité du tunnel, ce système informatisé de recueil et de traitement d'informations remplira quatre grandes fonctionnalités : collecte et analyse des informations en temps réel, détection de toute anomalie, mise en place automatique d'un régime de fonctionnement approprié et proposition aux opérateurs de la salle de commande d'un choix de réponses alternatives qu'ils pourront actionner manuellement.

A la réouverture, le tunnel du Mont-Blanc sera géré par un exploitant unique créé par ATMB et SITMB (les deux sociétés concessionnaires), le Groupement européen d'intérêt économique, qui se prépare dès maintenant à exercer ses futures missions. Ainsi, plusieurs groupes de travail se sont mis en place pour définir la nouvelle configuration de l'exploitation du tunnel : définition des procédures, organisation des structures, formation et constitution des nouvelles équipes... Responsable des sujets touchant la sécurité, le GEIE est chargé d'élaborer le plan interne de sécurité. De leur côté, les services publics français et italiens ont la charge d'élaborer ensemble le plan bi-national d'intervention et de secours.

Le chantier de nettoyage et de décontamination ainsi que les opérations de rétablissement des réseaux (radio, électricité...) et de mise en sécurité se sont respectivement achevés fin juillet et fin septembre 2000. Le lot 2F des travaux de génie civil pour la concession française a été attribué le 1^{er} septembre au groupement Bouygues TP/Dumez GTM/Impregilo pour un montant de 25 millions d'euros HT.

Les travaux de génie civil ont commencé à la mi-octobre en partant de la fin de la concession française pour progresser vers la tête française du tunnel. Les équipements existants, les supports de plaques de glasal et les trottoirs ont été démonté en totalité. La dépose des équipements électriques en voûte est réalisée à 80 %. La mise en place des équipements provisoires destinés au chantier est en cours ; elle concerne l'automatisme du sas au centre du tunnel et l'éclairage des gaines de ventilation.

Les travaux de génie civil représentent environ 40 % du coût global de l'opération de modernisation et de réhabilitation du tunnel du Mont-Blanc. Les équipements représentent à eux seuls 60 % de l'enveloppe budgétaire.

Concernant les travaux à l'explosif, dix abris, vingt-six niches de sécurité et huit carreaux de désenfumage ont été réalisés. Ils ont commencé mi-décembre pour la galerie de visée destinée à la mise en place du nouvel extracteur d'air vicié.

Les travaux de bétonnage sont achevés pour le poste de secours situé au milieu du tunnel, dix-huit niches de sécurité pour trois carreaux de désenfumage. Ils ont démarré dans trois abris et dans le futur réservoir incendie.

Les travaux d'étanchéité dans les gaines d'air frais ont démarré mi-janvier. Ils sont également en cours dans le poste de secours central. Enfin, la totalité des anciens équipements en voûte et sur piédroits a été évacuée.

Côté italien, se déroulent en parallèle les travaux de réparation de la voûte incendiée et de la dalle endommagée ainsi que les travaux de création des abris, des carreaux et des niches incendie.

■ LES NICHES DE SÉCURITÉ ET D'INCENDIE

Les niches de sécurité permettent aux usagers d'alerter la salle de commande unique située à la tête française du tunnel, tandis que les niches incendie serviront exclusivement aux pompiers.

La construction d'une niche demande environ trois jours.

Cinquante-huit niches de sécurité

Créées tous les 100 m en quinconce, ces niches seront signalées par des panneaux lumineux. Elles auront une profondeur de 1,20 m et une largeur de 1,50 m, pour une superficie de 1,8 m² au sol. Un poste d'appel d'urgence, un extincteur et un coup de poing d'alarme seront les principaux équipements disponibles à l'intérieur. Enfin, l'ouverture de la porte d'une niche déclenchera automatiquement une alarme au poste de régulation du tunnel.

Vingt niches incendie

Elles seront équipées d'une double bouche d'incendie, l'une répondant aux normes françaises, l'autre aux normes italiennes. Situées tous les 150 m, elles ne seront pas signalées aux usagers, car leur usage est exclusivement réservé aux pompiers.

■ LE POSTE DE SECOURS AU CENTRE DU TUNNEL

Ce poste permettra à une équipe de pompiers et à son matériel (véhicules et équipements de secours) de stationner en permanence au centre du tunnel. Ainsi, les pompiers gagneront un temps important sur le délai d'intervention. En outre, une équipe d'intervention similaire stationnera à chaque tête du tunnel.

L'ensemble est composé d'un garage, d'une salle de 45 m² pour les pompiers (isolée de l'atmosphère du tunnel par surpression d'air frais) et d'un abri. L'abri est lui-même relié à une gaine d'évacuation (gaine d'air frais aménagée) permettant aux pompiers d'accéder aux autres abris.

Le poste central est équipé d'un véhicule dit "léger" de liaison et d'intervention rapide, d'un véhicule "lourd" d'extinction spécialisée, de matériels de premiers secours, de moyens vidéo et de communication.

Parmi les dix pompiers qui seront présents simultanément au tunnel, trois seront en permanence dans le poste central, qui vient en complément des postes de secours situés aux deux têtes du tunnel.

Six semaines sont nécessaires pour la réalisation du poste de secours central.

de la concession

■ LES ABRIS

Ces abris permettront, en cas d'incident, de mettre les usagers en situation de sécurité et si nécessaire d'organiser leur évacuation par une galerie aménagée. Dix-neuf abris seront aménagés dans la partie française du tunnel. D'une surface utile d'au moins 37,5 m² (hors couloirs et escaliers), d'une largeur de 5,9 m, et d'une profondeur de 18 m environ, les abris seront situés tous les 300 m. Ils seront reliés par des escaliers à la gaine d'évacuation (gaine d'air frais aménagée) permettant l'arrivée des secours et l'évacuation des usagers. La galerie d'évacuation aboutira à l'extérieur du tunnel.

Creusés dans la roche et équipés d'un sas, les abris sont parfaitement isolés de l'atmosphère du tunnel. Ils seront pressurisés et alimentés en air frais pour empêcher la pénétration des fumées. Les abris et leur sas disposeront de deux portes coupe feu de 2 heures chacune.

Les abris seront repérables par un capotage de tôle verte et signalisés grâce à un balisage lumineux, une main courante indiquant notamment la distance entre les abris, et six feux "flash" qui se déclencheront automatiquement en cas d'alerte.

Chaque abri sera équipé d'un visiophone (téléphone, caméra vidéo et moniteur) pour entrer en contact avec la salle de commande unique et d'une réserve d'eau potable.

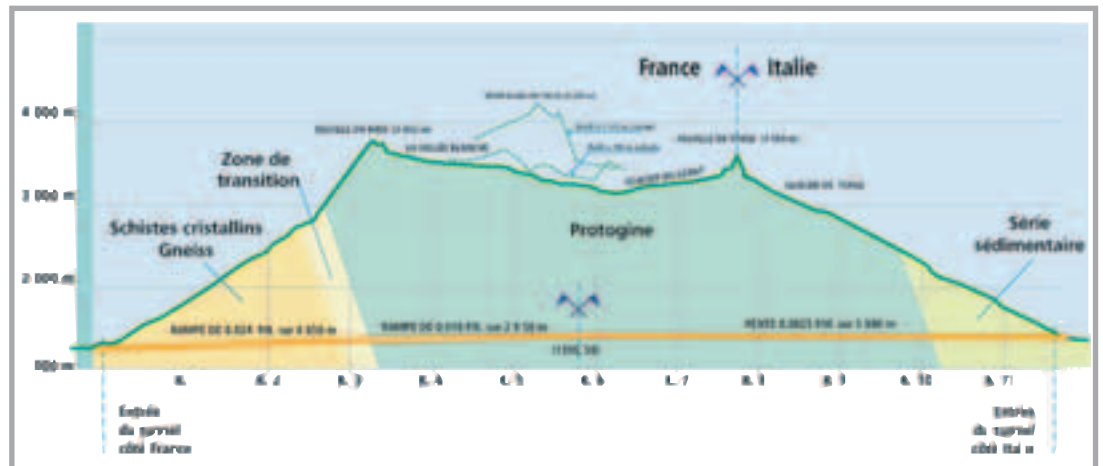
Les abris sont creusés dans la roche ; à certains d'entre eux seront associés des locaux techniques.

■ LES CARNEAUX DE DÉSENFUMAGE

Ces carneaux permettent d'assurer l'extraction de fumées en cas d'incendie et/ou des gaz en phase d'exploitation.

Les carneaux de désenfumage seront creusés dans la roche tous les 100 m en voûte et reliés à la gaine d'air vicié. La capacité de désenfumage sera de 150 m³ par seconde sur 600 m en tous points du tunnel. La section des carneaux est de 1,5 m².

Des ventilateurs d'extraction, venant en complément des usines situées aux deux têtes et situés dans les fosses sous les garages 14 et 16 permettront d'assurer la capacité d'extraction. Chaque carneau sera équipé d'une trappe motorisée et télécommandée, permettant de concentrer la puissance de désenfumage en cas d'incendie par section de 600 m.



**Profil géologique
du tunnel**

*Geological profile
of tunnel*

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

ATMB

Assistant maitre d'ouvrage

Systra

Maitre d'œuvre

Scetauroute - SPEA

Coordination santé-sécurité sur le chantier

Presentis

REPÈRES SUR LE TUNNEL DU MONT-BLANC

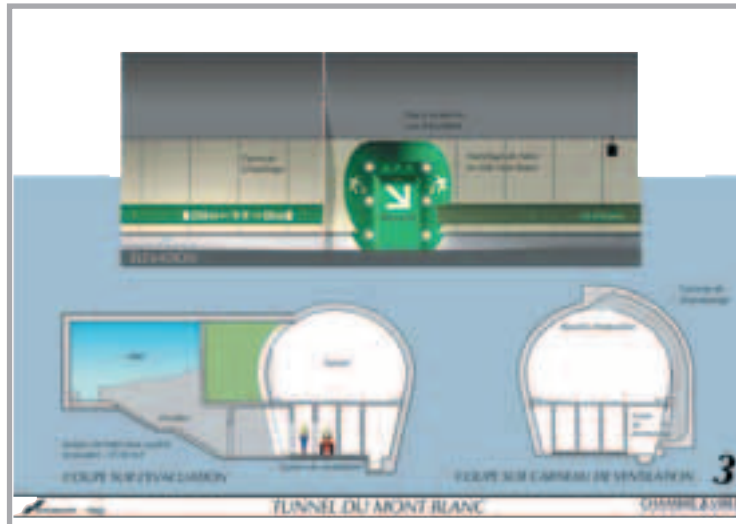
- 1274 m : altitude de la tête française sur le territoire de la commune de Chamonix.
- 1381 m : altitude de la tête italienne sur le territoire de la commune de Courmayeur
- 2800 m : hauteur totale de la couverture de roche sur le tunnel au droit du Mont-Blanc du Tacul
- 11,6 km : longueur totale du tunnel, dont 8,6 m de largeur pour une chaussée de 7 m

* * *

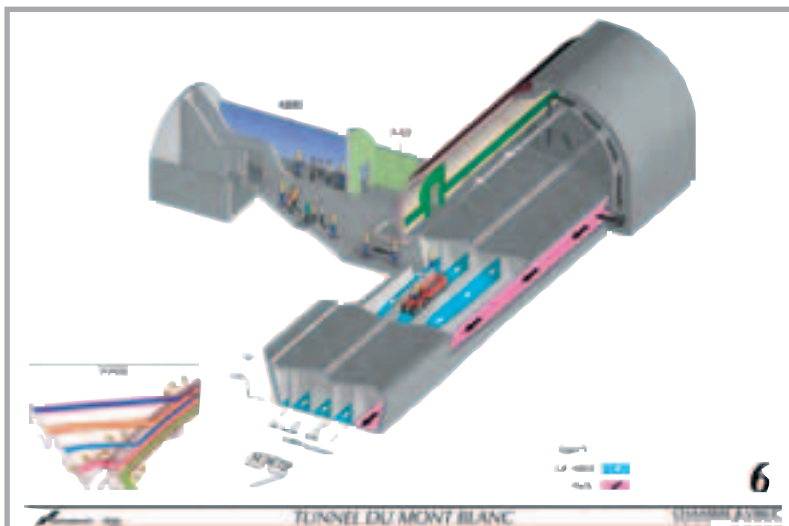
Le 19 juillet 1965 le tunnel du Mont-Blanc s'ouvre à la circulation, après plus de huit années d'études et de travaux.

Aujourd'hui, le tunnel relève un autre défi celui de sa modernisation et de son intégration dans l'environnement.

**Coupe du tunnel.
Détails**
*Cross section of tunnel.
Details*



**Principe
d'évacuation
des abris**
*Shelter evacuation
principle*



**Percement de la chaussée
vers la gaine d'extraction
pour la construction
d'un carneau de désenfumage**
*Opening in pavement
towards exhaust duct
of smoke removal system*



La Gestion technique centralisée (GTC) calculera automatiquement les régimes de ventilation pour tenir compte des différences de pression atmosphériques entre les deux têtes, tandis que le contrôle de la vitesse longitudinale de l'air sera assuré par 76 accélérateurs situés en voûte. Chaque carneau nécessite cinq jours de réalisation.

■ LES RÉSERVOIRS INCENDIE

La partie française du tunnel comporte deux réservoirs incendie. Le réservoir existant est reconstruit et un nouveau réservoir est créé sur la plate-forme du tunnel. Ces réservoirs en béton armé ont chacun une capacité utile de 120 m³, et alimentent les bouches incendie du tunnel.

Des réservoirs identiques seront installés sur la concession italienne.

■ LA VOÛTE

Sur la concession française, la voûte a été endommagée sur 100 m. Elle devra être réhabilitée par une opération consistant à repiquer le revêtement existant détérioré pour retrouver le béton sain, et à projeter une coque de béton projeté et fibré, pour reconstituer la capacité portante initiale.

■ POINT SUR LES PROCÉDURES D'APPELS D'OFFRES

Les travaux de chaussée ont été attribués à l'entreprise italienne SIPA. Concernant les équipements d'exploitation, la quasi totalité des lots a été attribuée; les groupements suivants ont été désignés : Alstom-Gemmo pour le lot énergie, vidéosurveillance, réseaux informatiques et GTC, Howden-Sirocco pour le lot ventilation, Alstom pour le lot détection incendie, la société SEE pour le lot radiocommunication, Self-time/ACIS pour la signalisation et CCC/Gemmo pour le lot réseau incendie. Enfin, la procédure d'appel d'offres pour le portail thermographique est en cours (tableau I).

■ LES CONTRÔLES QUALITÉ

Les sociétés concessionnaires et leur organisme de tutelle (Commission intergouvernementale de contrôle) ont mis en place une chaîne de contrôles qualité/exécution à toutes les étapes du déroulement des chantiers.

Quatre niveaux de contrôles internes et externes ont été mis en place pour la vérification de la qualité physique des composants des travaux tels que – le béton, les câbles et l'inox utilisés – et des ouvrages :

© Ch. Huret

- ◆ l'entreprise prestataire assure un premier contrôle interne, *via* un responsable qualité;
- ◆ le maître d'œuvre (Scetauroute - Spea) assure une mission de contrôle qualité;
- ◆ un premier contrôle extérieur (experts, laboratoires) mandaté par ATMB - SITMB intervient ensuite;
- ◆ un second cabinet d'experts indépendant qui ateste, sous sa responsabilité et directement auprès de la CIG, de la conformité des travaux réalisés par rapport aux dossiers de consultation des entreprises et de l'unicité des travaux. Cela se traduira par la remise d'un certificat de conformité. Le GEIE a lancé un appel d'offres européen pour cette mission, qui a été confiée au cabinet suisse Lombardi SA.



**Création
d'une niche
de sécurité**
**Work
on a safety niche**

© Ch. Huret

DESIGNATION	TITULAIRE
Travaux préalables	
Alimentation électrique provisoire, rétablissement réseau HT	<i>Favre-Gramari</i>
Travaux de génie civil	
Lot 1: Continuité générale des gaines & Réparation des dalles sous-chaussée	<i>Cossi SpA</i>
Lot 2: Travaux de génie civil	<i>Bouygues - Dumez GTM - Impregilo</i>
Lot 2/5: Travaux de génie civil + étanchéité	<i>Cossi SpA</i>
Lot 3: Chaussées	<i>S.I.P.A. S.p.A.</i>
Lot 4: Traitement des parements	<i>INTEKNA S.p.A. Turbosider S.p.A. Oberosler Cav. Pietro S.p.A. Crezza Prefabbricati S.r.l. Yveroud Européenne des Fluides</i>
Lot 5: Etanchéité	<i>Bouygues - Dumez GTM - Impregilo-Freyssinet</i>
Equipements d'exploitation	
Lot équipement n°1: Energie HT/BT, GTC, Supervision, Réseaux, Télécommunication	<i>Alstom / Gemmo / Getronics</i>
Lot équipement n°2: Ventilation Tunnel	<i>HOWDEN SIROCCO - Yvroud - Martina</i>
Lot équipement n°4: Sécurité & Réseaux incendie	<i>Consorzio Cooperative Costruzioni / Gemmo Impianti S.p.A.</i>
Lot équipement n° 6 : Eclairage tunnel	<i>PHILIPS S.p.A. Philips France S.p.A. Ste Comatelec S.A. Costr. Elettriche Schreder S.p.A.</i>
Lot équipement n° 7 : Radio communication	<i>SEE - BPG - Marc Favre - Nucléotides</i>
Lot équipement n° 8 : Détection thermométrique	<i>ALSTOM Entreprise Centre Est</i>
Lot équipement n° 9 : Signalisation	<i>SELF SIME S.r.l. - A.C.I.S. S.r.l.</i>
Travaux supplémentaires	
Plate-forme Cerro (lettre de commande)	<i>Benedetti</i>
Plate-forme Vigie	<i>Benedetti Colas</i>

Tableau I
**Le point sur les procédures
d'appel d'offres
de suivi des procédures
marchés**

**Status of tendering
procedures for contract
supervision proposals**

La signalisation dans le tunnel vue au PM 6544
Tunnel signing as seen from point PM 6544



LES PRINCIPAUX MOYENS ET QUANTITÉS MIS EN ŒUVRE

- Longueur de la concession française sur laquelle seront effectués les travaux : 5,8 km
- Montant du contrat de génie civil : 25 millions d'euros HT
- Effectifs mobilisés : 300 (soit 60 à 70 par poste de travail)
- Délais des travaux de génie civil : 23 semaines (dont 6 de préparation et 17 de travaux)

Les matériaux

- Volume de béton à démolir : 5 100 m³
- Poids des rochers à excaver : 55 000 tonnes
- Volume de béton à couler pour revêtir : 22 000 m³

Les abris et carnaux de désenfumage

Pour soutenir le rocher :

- Volume de béton projeté à utiliser : 5 000 m³
- Poids des cintres : 250 tonnes
- Poids des boulons de clouage : 55 tonnes

Les machines

- Equipement de sciage
- Trois Jumbo (2 et 3 bras) : foration et pose d'ancrages pour le soutènement
- Pelles hydrauliques et brise-roches
- Chargeurs et camions
- Nacelles et pompes à béton
- Coffrages outils
- Deux robots de projection de béton
- Trois boulonneurs
- Six outils de coffrage spécialement réalisés pour le projet

Le calendrier prévisionnel

- Durée estimée des travaux : 17 semaines
- Durée des travaux préparatoires : 6 semaines
- Démarrage des travaux préparatoires : 9 septembre
- Démarrage des travaux de génie civil : mi-octobre

Prochaines étapes

- Fin février démarrage des travaux d'équipement puis marche à blanc des équipements
- Ouverture prévue : septembre 2001

LES PROCÉDURES QUALITÉ DU GROUPEMENT BOUYGUES TP/DUMEZ GTM/IMPREGILO

Les entreprises du groupement Bouygues TP/Dumez GTM/Impregilo possèdent toutes la certification ISO 9001. Cette norme conduit à l'élaboration de plusieurs documents qualité tels que le Plan d'assurance qualité (PAQ), les procédures d'exécution, la technique de suivi et de contrôle.

Ces documents forment un véritable outil de gestion dans l'exécution des travaux. Ils permettent à Scetauroute - Spea, à tout stade des travaux, de vérifier le respect et la satisfaction des exigences spécifiées.

LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le groupement d'entreprises Bouygues TP/Dumez GTM/Impregilo a mis en place pour ce chantier une politique de protection de l'environnement conforme à la norme ISO 14 000.

Cette démarche intègre la maîtrise des pollutions de l'eau, de l'air et par le bruit. Elle fait l'objet d'un certain nombre de documents de contrôle comme le Plan d'assurance environnement, les fiches de suivi de non conformité environnemental, et de mesures : poussières et CO (monoxyde de carbone), qualité de l'eau.

La limitation du bruit

Les travaux se déroulent en tunnel, ils sont donc sans effet direct sur les riverains. L'impact bruit du chantier est principalement celui des engins de transport. A titre indicatif, le volume de marinage à évacuer est d'environ 25 000 m³ (soit environ 1 000 m³/jour), le nombre de camions nécessaires à sa mise en dépôt en carrière sera d'environ 90 camions/jour. L'évacuation des dépôts respectera l'interdiction de non circulation les week-end et jours fériés.

Dans le cadre du Plan d'assurance environnement applicable aux entreprises réalisant les travaux, les engins de chantier sont homologués pour leur niveau sonore.

La qualité de l'air

Un sas constitué de deux portes métalliques espacées d'une trentaine de mètres et capable de résister aux vibrations et au souffle provoqués par les travaux à l'explosif, est mis en place au milieu du tunnel.

Ainsi, les fumées propres aux travaux réalisés sur chaque concession sont évacuées sur chaque plate-forme correspondante. Du point de vue de la ven-

tilation, il y a deux chantiers distincts et indépendants, pendant les travaux de génie civil.

Les mesures prises seront principalement :

- ◆ la mise en place de dispositifs de dépollution pour les véhicules à moteur thermique afin de limiter la pollution atmosphérique de chantier ;
- ◆ l'utilisation d'engins fonctionnant avec des moteurs électriques ;
- ◆ l'arrosage, protections contre les poussières et projections pour les tirs à l'explosif.

La durée des travaux à l'explosif est de 12 semaines pour environ 25 000 m³ à excaver.

Des mesures du taux de CO à l'intérieur de l'ouvrage sont réalisées en continu.



**Création
d'un abri
Work
on a shelter**

© Ch. Huret

LA GTC : SYSTÈME DE GESTION AUTOMATIQUE DE LA SÉCURITÉ

Parmi les quarante-et-une recommandations formulées par les experts pour améliorer la sécurité du tunnel du Mont-Blanc, figure le principe d'une gestion unitaire de la sécurité. Sur le plan matériel, cela se traduit notamment par la mise en place d'un système informatisé appelé Gestion technique centralisée.

En voici les principales fonctionnalités.

Collecte des données

Pour collecter l'ensemble des informations nécessaires à la gestion de la sécurité, la GTC est reliée à l'ensemble des équipements du tunnel :

- réseau d'appel d'urgence ;
- données vidéo : 120 caméras fixes, couvrant chacune 100 m de linéaire, transmettent leurs données aux analyseurs d'image connectés à la GTC ;
- détection automatique d'incidents ;
- décrochés d'extincteurs, ouvertures ;
- des abris de secours pour les usagers ;
- opacimètres, anémomètres, luminancemètres, analyseurs du taux de CO...

La GTC permet aux opérateurs de la salle de commande d'être informés en temps réel du moindre événement.

Analyse des données

La GTC est en mesure de gérer de 9 000 à 12 000 informations grâce à des outils d'extraction et de traitement des données (édition de courbes, de rapports...). Elle peut notamment évaluer la disponibilité des équipements et les performances du système de détection automatique des incidents.

Aide à la sélection d'actions d'exploitation et à leur mise en œuvre

La GTC pourra réagir à des situations d'urgence, soit en commandant directement un certain nombre d'équipements, soit en proposant aux opérateurs de la salle de commande un choix d'actions coordonnées en fonction de la situation.

Par exemple :

- affichage de la configuration de signalisation adéquate ;
- information des usagers en temps réel grâce à une fréquence radio FM et aux panneaux à messages variables (PMV) ;
- alerte et communication avec les intervenants extérieurs.

Commande et maintenance des équipements

La GTC commande l'ensemble des équipements pour la ventilation et le désenfumage (accélérateurs, trappes...), le réseau incendie (vannes, réservoirs...), la signalisation (PMV, feux, barrières...) et la vidéo (moniteurs, visiophones...) et gère leur maintenance. En outre, elle archive l'ensemble des données traitées et remplit une fonction de paramétrage et d'administration.

Les dépôts de marinage (évacuation des roches)

Le volume des matériaux issus du marinage à évacuer s'élève à environ 25 000 m³. Ceux-ci sont stockés provisoirement sur la plate-forme basse du tunnel zone de stockage de 2 000 m³, avant d'être évacués en carrière.



© Ch. Huret

Création d'un abri
Work on a shelter

ABSTRACT

The Mont-Blanc tunnel. Status of works on French concession side in February

The works currently under way in the Mont-Blanc tunnel should restore the tunnel's conformity with respect to new regulations. These civil engineering works concern mainly the central safety station, the smoke removal ducts, shelters, safety niches, fire-fighting reservoirs and pits for exhaust fans.

Another major worksite : the setup of the centralised technical control system. Connected to all the tunnel's safety equipment, this computer-controlled data collection and processing system will perform four main function : real-time information gathering and analysis, trouble detection, automatic setup of an appropriate operating mode, and giving control room operators a choice between different alternative responses which they can implement manually.

When it re-opens, the Mont-Blanc tunnel will be run by a single operator created by ATMB and SITMB (the two operating concession companies) : a European economic interest group (GEIE).

Responsible for all safety aspects, the GEIE is in charge of defining an internal safety plan. For their part, the French and Italian public services are in charge of jointly defining a bi-national intervention and rescue group.

RESUMEN ESPAÑOL

El túnel del Mont Blanc. Situación de las obras de la concesión francesa a principios de febrero

Las obras actualmente en curso en el túnel del Mont Blanc están destinadas a poner esta estructura en conformidad con la nueva normativa. Las obras de ingeniería civil se refieren, fundamentalmente, a la estación central de seguridad, los conductos de evacuación de humos, los refugios, los nichos salvavidas (burladeros), los tanques contra incendios y los fosos con destino a los ventiladores de extracción.

Otras obras importantes : la implantación de la gestión técnica centralizada (GTC). Este sistema informatizado de captación y de proceso de los datos cumplirá cuatro grandes funcionalidades en tiempo real, colecta y análi-

sis de las informaciones, detección de cualquier anomalía, intervención automática de un régimen de funcionamiento adecuado y propuestas a los operadores de la sala de control de una variedad de respuestas alternativas que podrán controlar manualmente, y está conectado con el conjunto de los equipos de seguridad del túnel.

Al proceder a la reapertura, la gestión del túnel del Mont Blanc se habrá de efectuar por un operador único, creado por ATMB y SITMB (o sea, las dos empresas concesionarias) : el Grupo europeo de interés económico (GEIE).

El GEIE será el responsable de los temas relativos a la seguridad y está encargado de elaborar el plan interno de seguridad. Por su parte, los servicios públicos franceses e italianos tienen a su cargo la elaboración del conjunto del plan binacional de intervención y de emergencia.



Le tunnel de Foix

Modification d'un tunnel neuf avant son ouverture

Située sur l'itinéraire direct Toulouse - Barcelone et reliant par ailleurs l'Andorre à la France, l'Ariégeoise connaît depuis 15 ans d'importants travaux. Dernière section à avoir été mise en service, la déviation de la RN 20 permet depuis le 1^{er} février 2001 d'éviter certains jours près de 30 mn de ralentissement.

Pour ce faire, il a notamment été nécessaire de construire un tunnel bidirectionnel de plus de 2 km de longueur. Les études et la surveillance du chantier ont été menées par la DDE de l'Ariège, dans le contexte particulier qui a suivi l'incendie dramatique du tunnel sous le Mont-Blanc. Ainsi le tunnel de Foix conçu et construit en grande partie en s'appuyant sur des normes datant de 1981 a eu à subir d'importants travaux d'amélioration de la sécurité avant de connaître une ouverture qui aujourd'hui encore n'est que partielle.

■ 2001 - TUNNEL DE FOIX - L'OUVERTURE

En voyant apparaître ce panneau (photo 1) fin juin 2000, les Fuxéens eurent enfin la certitude que jamais la déviation de la RN 20 à Foix n'était aussi proche du bout du tunnel.

Le château de la cité comtale allait bientôt enfin redevenir plus célèbre que le bouchon de Foix, qui faisait particulièrement parler de lui en période estivale (accès à l'Andorre et à l'Espagne) et les fins de semaine pour la desserte des stations de ski pyrénéennes.

Plus de 25 000 véhicules par jour empruntaient les voies étroites du centre-ville!...

Les premières études datent de 1971. Il fallait définir un nouveau tracé, l'aménagement sur place de la RN 20 étant impossible compte tenu de la présence dans une trouée très étroite et aux versants abrupts de l'Ariège, de la ligne SNCF Toulouse - La Tour de Carol et de nombreux bâtiments. La déviation ne pouvait donc pas éviter un tunnel sous le Pech culminant à 860 m d'altitude (figure 1).

■ PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'OUVRAGE

Cette nouvelle section étant située sur la RN 20, le représentant du maître d'ouvrage est le directeur départemental de l'Équipement de l'Ariège. La maîtrise d'œuvre de l'opération est assurée quant à elle directement par le service infrastructures de la DDE de l'Ariège, assisté du Centre d'études des tunnels (CETU).

Le tunnel de 2 160 m de longueur, orienté nord-



Figure 1
Plan de la déviation
de Foix
Foix bypass plan



Photo 1
Affiche tête nord.
L'ouverture du tunnel est prévue
dès le début du III^e millénaire
*North head sign. Tunnel scheduled
for opening at the start
of the new millennium*

sud, comporte un seul tube présentant une largeur roulable entre trottoirs de 9 m, soit deux voies de circulation de 3,5 m, deux bandes dérasées de 0,5 m et une bande centrale de séparation de 1 m. Ces dimensions généreuses avaient été définies dès l'origine du projet car le souci de la sécurité a été une constante dans l'esprit des concepteurs. La largeur du tunnel permet en effet le croisement à vitesse modérée de deux véhicules

► au droit d'un poids lourd arrêté et sécurise les opérations légères d'entretien sous circulation. Le tunnel, d'altitude moyenne égale à 420 m, comporte pratiquement en son centre un point haut ayant permis de disposer de deux attaques montantes. Ce profil en long répartit par ailleurs vers chaque tête, les eaux du massif. Les liquides recueillis à l'intérieur du tube (produits déversés accidentellement, eaux de lavage ou provenant de lances incendies) sont, quant à eux, envoyés vers deux bassins de récupération des eaux usées. Une usine de ventilation est située à chaque tête, celle du nord est extérieure et mesure 75 m de longueur alors que celle du sud est souterraine (figure 2).

ainsi que les dégradations sur un ouvrage SNCF. La foration et le traçage des trous de mines ont été réalisés à l'aide d'un jumbo Robofore trois bras (glissière 6,10 m, marteau HC 80) et d'un jumbo Pantofore deux bras (glissière 5,60 m, marteau HC 40). La zone du Trias a été percée très facilement à l'aide d'un brise-roche, voire d'une simple pelle mécanique. Le percement a démarré en tête sud le 25 juin 1996 et devait se poursuivre jusqu'à la zone du Trias, l'atelier de creusement devant alors être déplacé en tête nord. Cependant les cadences d'avancement ayant été inférieures aux 8 m/jour prévus, un deuxième atelier a entamé le percement en tête nord le 21 novembre 1996, la jonction des deux attaques ayant eu lieu le 10 septembre 1997.

Zone de Trias

Cette zone avait été annoncée comme présentant des caractéristiques mécaniques faibles, sensibles à l'eau et nécessitant la mise en place après creusement d'un profil de soutènement dit "lourd", constitué de cintres réticulés espacés de 1 m, de béton projeté sur 20 cm d'épaisseur ainsi que de boulons de 5 m de longueur selon une densité d'un boulon par mètre carré.

Le Trias comprenait de l'anhydrite qui du fait de travaux d'assainissement très insuffisants a été mis au contact de l'eau, ce qui a entraîné le gonflement des matériaux. Il a alors été nécessaire de construire une contre-voûte largement dimensionnée.

■ ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ DU TUNNEL PRÉVUS DÈS L'ORIGINE

Le tunnel a été conçu dès l'origine en respectant des normes bien plus sévères que celles de la circulaire de 1981 alors en vigueur.

Une commission de sécurité présidée par le préfet a été créée le 21 août 1992 et s'est rapidement interrogée sur l'acceptation ou non des transports de matières dangereuses (TMD). Une étude a ainsi évalué que le passage des TMD à l'intérieur du tunnel présentait un risque comparable à celui de ces mêmes trafics traversant la ville de Foix. Le tunnel a donc été dimensionné pour permettre l'accueil de ces poids lourds.

Abris piétons

Quatre refuges piétons de 50 m² chacun sont situés sur le piédroit ouest du tunnel, répartis tous les 450 m environ. Chaque abri assure à leurs occupants une protection de 4 heures contre un éventuel incendie ; il est pressurisé, permettant ainsi l'évacuation des éventuelles fumées ayant pu pénétrer par le sas.

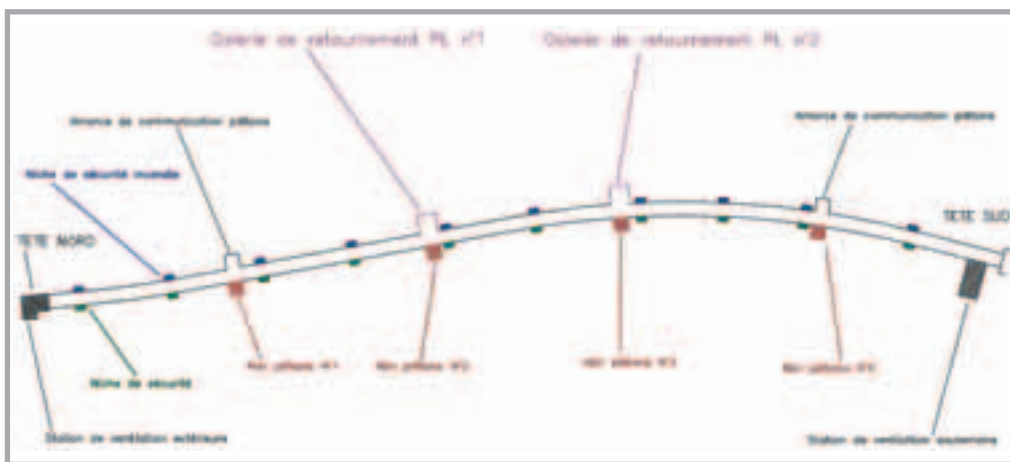


Figure 2
Tunnel de Foix,
plan général
*Foix tunnel,
general plan*



Photo 2
Galerie de retournement
pour poids lourds
Lorry U-turn gallery

Percement

Le tunnel a coupé toute une série de terrains, allant du calcaire massif aux marnes noires schisteuses en passant par des dolomies noires, des brèches, de la bauxite. Une zone de 200 m de Trias avait été définie très rapidement comme constituant la principale difficulté.

Le percement a été réalisé en majorité par minage, en pleine section (100 m²) : une attention particulière a porté sur la surveillance des vibrations et plus précisément près des têtes de tunnel, de manière à limiter les risques de chutes de blocs

Galerie de retournement

Le tunnel comporte deux galeries de retournement poids lourds (photo 2) situées sur le côté est du tube, en face des deux abris piétons centraux. Elles se prolongent vers le futur deuxième tube, par une galerie plus basse destinée aux véhicules légers (futurs voies de communication entre les deux tubes). Ces galeries sont destinées à faciliter l'évacuation des véhicules qui seraient bloqués par un accident ou un incendie dans le tunnel.

Niches de sécurité

Le tunnel est équipé de dix niches de sécurité et d'incendie, sur le piédroit est, régulièrement espacées de 200 m et de dix niches de sécurité, disposées en vis-à-vis des précédentes sur le piédroit ouest.

Chaque niche est fermée et comprend un coffret équipé de deux extincteurs, une borne du réseau d'appel d'urgence ainsi qu'une borne à incendie pour les niches du piédroit est.

Ventilation

Le système de ventilation est assuré par deux unités de ventilation situées à chacune des têtes de l'ouvrage. Chaque station prend en charge une demi-longueur du tunnel pour constituer deux cantons de 1 000 m environ.

Les galeries de ventilation sont situées en voûte du tunnel (photo 3), dans l'espace disponible au-dessus des faux plafonds. La distribution de l'air frais s'effectue par deux galeries soufflant l'air frais :

- ◆ côté ouest du tunnel en partie basse, au niveau du trottoir;
- ◆ côté est par des bouches en plafond.

Cette disposition a été conçue de manière à assurer un brassage rapide de l'air frais avec l'air vicié, ce dernier s'échappant par décompression naturelle par les têtes du tunnel.

La mise en marche de la ventilation se fait de façon automatique grâce aux six analyseurs de CO et quatre opacimètres répartis dans le tunnel.

Désenfumage

L'extraction des fumées se fait de façon transversale, grâce à quatre ventilateurs de désenfumage spécifiques : la galerie de désenfumage se trouvant en faux plafond, entre les deux galeries d'air frais, reçoit les fumées extraites au moyen des trappes de désenfumage (photo 4) situées au-dessus de la chaussée et espacées tous les 48 m. Ce mode de désenfumage permet d'évacuer les fumées au droit d'un incendie en évitant ainsi leur cheminement dans l'ensemble du tunnel : il devient alors possible aux services de secours de s'ap-



Photo 3
Galerie de désenfumage
Smoke removal gallery



Photo 4
Trappe de désenfumage
Smoke removal gate

procher beaucoup plus près d'un éventuel foyer. Au droit de chaque station de ventilation, le rejet des fumées est prévu dans une zone peu sensible et éloignée des prises d'air afin d'éviter tout risque de recyclage.

Surveillance du tunnel

Le poste de commande est implanté dans le Centre d'ingénierie et de gestion du trafic (CIGT) de la DDE de l'Ariège (photo 5), situé à 4 km de la tête sud du tunnel, à proximité immédiate de la RN 20.

Les pupitreurs peuvent surveiller l'intérieur du tunnel à l'aide de cinq moniteurs raccordés par un câble à fibres optiques aux :

- ◆ 21 caméras situées en plafond;
 - ◆ 4 caméras extérieures, télécommandables;
 - ◆ 4 caméras disposées dans chacun des abris.
- La surveillance est facilitée par la mise en place au CIGT d'équipements de Détection automatique d'incident (D.A.I.), ce qui constitue une première dans un tunnel français. Ce système utilise le signal vidéo provenant des 21 caméras pour détecter des véhicules en situation anormale et fournit une alarme sonore en cas de :
- ◆ véhicule à l'arrêt (risque d'accident);
 - ◆ véhicule roulant à faible vitesse (risque de bouchon);
 - ◆ véhicule roulant à contresens (risque d'accident);
 - ◆ présence de fumée ou de brouillard (risque d'incendie).



Photo 5
Centre d'ingénierie et de gestion du trafic de la DDE de l'Ariège
Traffic control and engineering centre of the Ariège DDE

Photo 6
Poste de surveillance.
Le moniteur central est éteint,
la détection automatique
d'incident (DAI)
n'ayant détecté aucun incident

*Supervision station.
The central monitor is switched
off, as the automatic incident
detection system
has not detected any trouble*

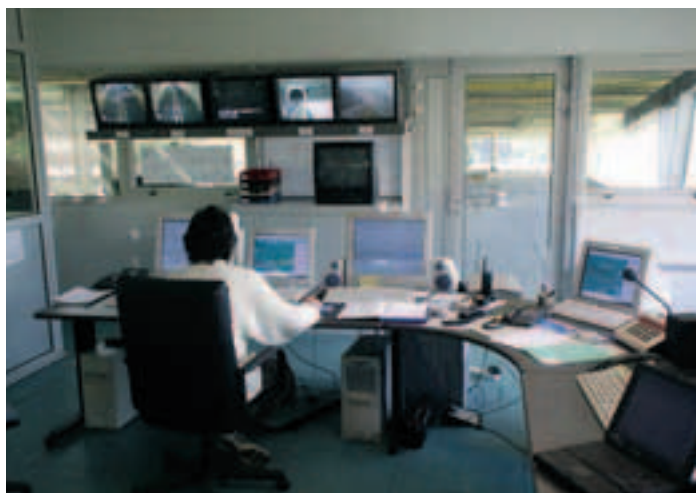


Photo 7
Issue de secours
creusée
à l'arrière des abris

*Emergency exit
provided behind
the shelters*



Parallèlement, un moniteur habituellement en position éteinte affiche instantanément l'image de la caméra qui a détecté un incident (photo 6).

Le pupitre peut alors, après une confirmation rapide de l'existence de l'incident, lancer les procédures d'urgences adaptées : fermeture du tunnel, mise en route du désenfumage, appel des secours, affichage d'informations sur des panneaux à messages variables.

Dans le cas particulier d'un incendie, l'agent de permanence commande l'ouverture de huit trappes de désenfumage dans la zone définie par la caméra ayant détecté automatiquement le feu : l'aspiration des fumées se fait donc sur une zone de 400 m centrée sur l'incendie.

Ensuite, en fonction des indications fournies par les caméras, par les pompiers sur le terrain et en

fonction de la vitesse et du sens du vent dans le tunnel, le pupitre peut modifier l'ouverture et la fermeture de chacune des trappes pour optimiser le désenfumage en fonction du déplacement réel des fumées.

■ ADAPTATION DES DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ APRÈS L'INCENDIE DU MONT-BLANC

Comme suite à l'incendie catastrophique du tunnel sous le Mont-Blanc de mars 1999, un diagnostic des tunnels en service de plus d'un kilomètre de longueur a été réalisé par un comité d'évaluation regroupant les représentants du ministère de l'Intérieur, de l'Équipement, des Transports et du Logement ainsi que des experts extérieurs.

Par ailleurs, la réglementation en matière de sécurité dans les tunnels routiers fait, depuis plusieurs années, l'objet d'une révision : ceci concerne en particulier l'ancienne circulaire de 1981 qui a été remplacée par une instruction technique annexée à la circulaire du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national.

Le tunnel n'était alors pas encore en service. Il était cependant hors de question, compte tenu du contexte, de ne pas mettre en œuvre les nouvelles recommandations et directives.

Le tunnel neuf de Foix allait revivre un chantier de réfection avant son ouverture !

Accès aux abris

Un des principaux enseignements tirés de l'incendie du tunnel sous le Mont-Blanc sur le plan de la sauvegarde des personnes a été la nécessité de permettre aux services de secours de pouvoir faire évacuer les usagers réfugiés dans les abris pressurisés par un cheminement autre que le tunnel lui-même. Cette mesure, désormais prescrite par la nouvelle instruction technique, vise le cas d'incendie très violent (feu de marchandises dangereuses par exemple) que les pompiers ne sont pas en mesure de maîtriser rapidement. Il importe alors de pouvoir secourir les usagers réfugiés dans ces abris, à partir d'une zone non enfumée.

Après étude technique c'est une solution classique de liaison des abris avec la galerie de soufflage d'air frais courant en plafond qui a été mise en œuvre. Bien que de hauteur réduite (1,50 à 50 cm de la paroi verticale) cette galerie peut être effectivement utilisée à cet effet.

Cette solution a consisté à :

- ◆ aménager des escaliers permettant aux abris de communiquer avec la galerie à travers un sas (photo 7) ;

- ◆ équiper la galerie d'un balisage lumineux et d'un câble téléphonique à l'usage des pompiers;
- ◆ réaliser par ailleurs des accès permettant de relier les extrémités de la galerie avec les zones accessibles des stations de ventilation, également au moyen de sas.

Il a été vérifié que le génie civil des galeries de ventilation était capable de supporter la charge piétonne ainsi que les différences de pression (soufflage d'air frais en présence de l'extraction des fumées par la galerie de désenfumage) (figure 3).

Désenfumage

Depuis l'avant-projet qui avait prévu, en fonction des événements de l'époque, des débits de désenfumage de 80 m³/s au droit d'un incendie, une première mesure de renforcement a été adoptée en 1998. En raison du génie civil déjà construit, le débit a été limité à 100 m³/s au lieu des 130 m³/s prescrits par le projet de directive (devenue instruction technique par la suite) tel qu'il se présentait à l'époque.

Après étude, réalisée à la suite des recommandations du Comité d'évaluation des tunnels routiers en 1999, une solution de renforcement du débit d'air extrait s'est avérée faisable. Elle a consisté à mettre en communication les deux demi-longueurs de galerie issues chacune d'une station de ventilation et à faire fonctionner simultanément les extracteurs disposés de part et d'autres. Les travaux d'adaptation correspondants ont été réalisés. Le débit d'air extrait au droit d'un incendie a ainsi été porté à 130 m³/s environ dans le cas le plus défavorable au marché d'une extraction concentrée et localisée en partie médiane du tunnel. Ces 130 m³/s restent toutefois inférieurs aux 158 m³/s demandés par la nouvelle instruction technique. Pour atteindre ces nouveaux débits d'air considérables se traduisant par des évacuations de fumée à plus de 100 km/h, il a été nécessaire de renforcer l'étanchéité des cloisons séparant les trois galeries de ventilation. Des travaux complémentaires sont aujourd'hui encore en cours pour permettre d'obtenir une dépression de 3000 Pa dans la zone de désenfumage.

Câble rayonnant

Un dispositif de rétablissement de la continuité radioélectrique a été installé dans le tunnel, il permet la réception dans l'ouvrage des fréquences :

- ◆ des services de secours (pompiers, SAMU, police, DDE);
- ◆ des opérateurs de téléphones mobiles;
- ◆ des stations FM, avec la possibilité d'émettre à partir du poste de surveillance des messages d'urgence qui sont captés par les autoradios des véhicules branchés sur les stations retransmises dans le tunnel.

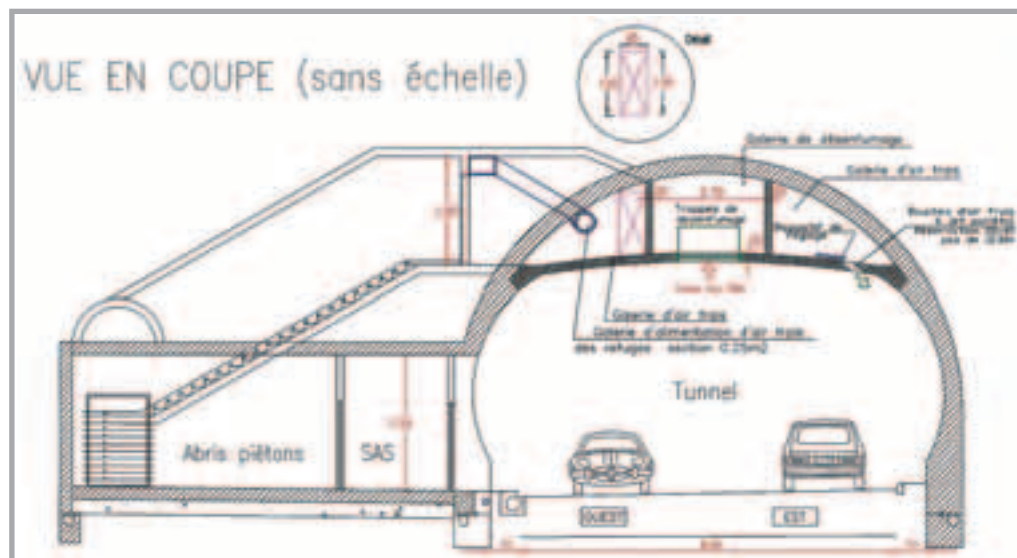


Figure 3
Communication entre refuges et gaine de ventilation
Communication between refuges and ventilation duct

Pour cela, un pylône de 30 m de hauteur équipé d'antennes directives a été installé à proximité immédiate de la tête sud; il est raccordé *via* un multicoupleur à un câble rayonnant suspendu en faux plafond et constitué de quatre tronçons fonctionnant de façon indépendante.

En cas de perte de l'un de ces tronçons, la transmission des fréquences continuera à être assurée dans la totalité du tunnel.

LE COMITÉ D'ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS

Conformément à la circulaire du 25 août 2000, la mise en service d'un tunnel du réseau routier national est décidée par le préfet qui aura recueilli au préalable l'avis du comité d'évaluation mis en place suite à la catastrophe du Mont-Blanc. Ce comité examine le dossier de sécurité de l'ouvrage qui contient en particulier une étude spécifique des dangers décrivant les accidents susceptibles de se produire et précisant les mesures propres à réduire la probabilité que ces accidents surviennent et leurs conséquences.

En raison de la proximité de la date envisagée pour l'ouverture du tunnel et du fait de l'absence de bureau d'études capable de réaliser dans un délai suffisamment court une étude de danger complète, il a été décidé de limiter dans un premier temps l'ouverture aux seuls véhicules légers. Le danger relativement faible présenté par un éventuel accident de ces derniers a permis de limiter le nombre de scénarios examinés par l'étude spécifique de danger à 2. Le comité d'évaluation a ainsi été en mesure, au cours de sa séance du 20 décembre 2000, d'examiner le premier dossier de tunnel soumis à son avis, celui relatif au tunnel de Foix.

Le comité a émis un avis favorable à la mise en service du tunnel aux seuls véhicules d'un poids



Photo 8
Tête sud
du tunnel
South head
of tunnel

total autorisé en charge inférieur à 3,5 t, sous réserve que soit toujours assurée la permanence d'un pupitre au CIGT. Cette assemblée a donc estimé que le principe de la surveillance nocturne envisagé initialement à partir du commissariat de police devait être abandonné. La DDE ne disposant pas dans l'immédiat d'un effectif de pupitreurs suffisant pour armer le CIGT 24 heures sur 24, le préfet de l'Ariège a été contraint dans un premier temps de n'autoriser l'ouverture du tunnel de Foix aux V.L à partir du 1^{er} février que pendant la période allant de 6 heures à 21 heures (photo 8).

■ LA SUITE...

A partir du mois d'avril, le tunnel pourra ouvrir de façon permanente, grâce à la formation de deux agents supplémentaires, les six pupitreurs travaillant alors en trois postes.

Pour l'ouverture totale du tunnel à tous trafics, il sera nécessaire de soumettre à nouveau à l'examen du comité d'évaluation de la sécurité des tunnels le dossier de Foix, comprenant l'étude complète de danger.

Des travaux complémentaires de protection thermique du faux plafond pourraient s'avérer par ailleurs nécessaires pour résister à un incendie de 1300 °C au lieu des 1000 °C pris en compte initialement afin de garantir pendant 2 heures au moins l'utilisation de la galerie de secours située au-dessus de cette dalle. Une étude est actuellement en cours afin de définir les caractéristiques de cette protection et d'évaluer les travaux qui pourraient imposer pour leur réalisation une fermeture provisoire du tunnel pendant plusieurs mois.

L'ouverture totale de la déviation de Foix ne serait alors possible qu'en 2002.

Pour cela, la DDE de l'Ariège aura établi plus de 40 conventions d'études et 35 marchés pour mener à bien cette opération de 657 millions de francs (100 M euros) en respectant à un mois prêt le délai initialement fixé et ce malgré l'évolution permanente des recommandations et réglementations en matière de sécurité des tunnels.

ABSTRACT

The Foix tunnel. Modification of a new tunnel before its opening

M. Vetter

Located on the direct Toulouse-Barcelona route and also linking Andorra to France, the Ariègeoise has been undergoing major works in the past 15 years. The diversion of national highway RN 20, the last section to go into service, has made it possible since 1 February 2001 to avoid slowdowns which could reach as much as 30 minutes on certain days. To accomplish this, it was necessary among other things to build a two-way tunnel more than 2 km long. The design studies and worksite supervision of the tunnel project were handled by the DDE (departmental directorate of infrastructures) of the Ariège region, within the particular context that followed the dramatic fire in the Mont-Blanc tunnel. The Foix tunnel, designed and built largely on the basis of standards dating from 1981, has thus had to undergo major safety improvement works before final opening to service, the facility being only partially open to traffic at the present time.

RESUMEN ESPAÑOL

El túnel de Foix. Modificación de un túnel nuevo antes de su inauguración

M. Vetter

Situada en el itinerario directo Toulouse - Barcelona y también poniendo en comunicación Andorra con Francia, la autopista denominada La Ariegoise es objeto, desde hace 15 años, de importantes obras y trabajos. La última sección puesta en servicio, o sea la variante de la carretera nacional RN 20 permite, desde el 1 de febrero de 2001, evitar en ciertos días cerca de 30 minutos de retención.

Para ello, ha sido preciso, fundamentalmente, construir un túnel bidireccional de más de 2 km de longitud. Los estudios y la vigilancia de las obras se han llevado a cabo por parte de la Dirección departamental de Obras públicas del Ariège, situándose en el contexto particular que se ha derivado del dramático incendio del túnel del Mont Blanc. Así, el túnel de Foix, diseñado y

construido en gran parte fundándose en las normas publicadas en 1981, ha sido objeto de importantes trabajos de mejora de la seguridad antes de su apertura al tráfico que, incluso actualmente, es únicamente parcial.

Le tunnel du Pannerdensch Kanaal

Le premier tunnel foré français aux Pays-Bas

Cet article expose les particularités du tunnel ferroviaire bitube sous le canal de Pannerdensch aux Pays-Bas. Le projet fait partie du tracé Betuwe, une ligne de chemin de fer destinée au transport de marchandises entre le port de Rotterdam et la frontière allemande. L'article explique notamment les raisons pour lesquelles, compte tenu de la géologie du site, ce projet nécessite différents types de revêtement comportant des voussoirs ferrillés, la philosophie de conception du système et les conséquences techniques du forage à travers une ancienne sablière remblayée d'environ 200 x 200 x 20 m³.

■ INTRODUCTION

Après une phase d'appel d'offres de novembre à mars 1999 et une phase de négociation particulièrement longue, un groupement d'entreprises françaises (Campeon Bernard et Dumez-GTM maintenant réunies au sein de Vinci Construction), belge (CFE, filiale de Vinci Construction) et néerlandaises (TBI Beton- en Waterbouw et Welling), réunissant un ensemble de compétences et d'expériences complémentaires, a signé le 9 décembre 1999 le contrat du tunnel foré du Pannerdensch kanaal (160 millions d'euros), troisième et dernier lot de tunnel foré sur la nouvelle ligne ferroviaire Betuwe entre Rotterdam et l'Allemagne.

Ce contrat en conception/construction – dont les spécifications techniques sont particulièrement détaillées et basées sur l'expérience germano-néerlandaises sur les premiers tunnels forés aux Pays-Bas – a pu être obtenu en partie, grâce à l'introduction d'une touche de philosophie française de conception de tunnels et après avoir réussi à convaincre le client du bien-fondé de cette approche. Il reste néanmoins des divergences fondamentales entre les différentes philosophies, notamment dans la modélisation des anneaux, qui ne pouvaient être résolues sur ce seul projet.

Une phase d'exécution bien préparée, avec début de forage prévu fin de l'été 2001, pour un résultat de qualité devrait permettre de progresser dans cette voie.

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le canal de Pannerdensch, un bras du Rhin, est situé à proximité de la frontière Est des Pays-Bas. Après son entrée sur le territoire des Pays-Bas, le Rhin se scinde en deux pour former le Waal et le canal de Pannerdensch. Ceci n'a cependant pas

toujours été le cas. Le Rhin jouait jadis un rôle important en matière de défense de la République des Pays-Bas. Le fleuve formait une barrière naturelle et servait au transport des troupes et du matériel. Au XVII^e siècle, le Rhin se remplit de limon et permit au roi Louis XIV de le franchir et de semer le trouble dans la République en 1672. Ces événements conduisirent finalement à la construction du canal de Pannerdensch. Les travaux furent achevés en 1708. Près de 300 ans plus tard, une nouvelle traversée du fleuve est en voie de réalisation.

Le projet de construction d'un double tunnel ferroviaire sous le canal de Pannerdensch fait partie du tracé Betuwe, une ligne de chemin de fer destinée au transport de marchandises entre le port de Rotterdam et la frontière allemande. Le tracé Betuwe a une longueur totale d'environ 160 km et comprend également deux autres tunnels réalisés par forage : le tunnel Botlek et le tunnel Sophia. Ce double tunnel est situé dans une région essentiellement rurale. Les considérations environnementales importantes ont motivé le choix de construction d'un tunnel plutôt que d'un pont. Environ 1600 m du tunnel sont situés entre les digues de crue du canal de Pannerdensch. Le passage sous chacune des digues de crue est marqué par un bâtiment technique destiné à recevoir l'équipement technique du tunnel et des portes verticales susceptibles d'être abaissées afin de restaurer la barrière d'étanchéité à l'eau en cas d'urgence. A proximité de la rive ouest du canal, le tunnel passera à une grande profondeur sous une briqueterie située sur une élévation de terrain. Sur la rive est, une ancienne sablière très profonde sera traversée. Celle-ci sera remblayée et le sol compacté. Une pompe de puisard et une galerie transversale seront construites dans un puits de service situé au point le plus bas du tunnel.

Le double tunnel est conçu pour des trains à deux

Eric Paillas



DIRECTEUR DE PROJET
VINCI CONSTRUCTION

Hans Mortier



RESPONSABLE ÉTUDES
EXÉCUTION
CFE

François Dudouit



DIRECTEUR TRAVAUX
TUNNEL FORÉ
Vinci Construction

François Renault



INGÉNIEUR MÉTHODES
TUNNEL FORÉ
Vinci Construction



Photo 2
Vue générale
des accès côté ouest
General view
of access on west side

moitié de la longueur des accès – des fibres d’acier sont ajoutées au béton immergé, afin d’aider à supporter les pressions d’eau élevées. Alors que le béton immergé normal est très friable et doit être étudié en tenant compte de cet aspect, le béton immergé à fibres d’acier présente un comportement de post-tension. En cas de fissuration du béton, les fibres d’acier se déforiment et créent des points d’articulation élastique. Le fait de prévoir une structure hyperstatique, constituée d’un radier comportant de nombreux pieux, permet une redistribution des forces et, conjointement avec celle-ci, de supporter des charges plus élevées. En termes de conception, cela signifie une réduction de l’épaisseur du radier et du nombre de pieux. Il en résulte pour ce projet que tous les radiers en béton immergé possèdent une épaisseur variant entre 0,9 et 1,1 m. Etant donné la distribution tridimensionnelle des fibres d’acier, il ne se produit qu’une microfissuration du béton n’influant pas sur l’étanchéité à l’eau.

■ CONCEPTION DES VOUSOIRS

Paramètre de conception des voussoirs

Le tunnel fut modélisé en tant que modèle annulaire enfoui et scellé, sur lequel les charges correspondent à la pression initiale du sol non perturbé. La réaction du sous-sol est liée à la rigidité du sol et est décrite par des couches élastiques de rigidité $c = \alpha E_{oed}/R$, où E_{oed} est la rigidité du sol



Photo 1
Détail de batardeau -
Profils HZ et palplanches
Detail of cofferdam -
HZ sections and sheetpiling



Photo 3
Détail de batardeau - Tubes et palplanches
Detail of cofferdam - Tubes and sheetpiling



Photo 4
Puits d’arrivée
Inlet shaft



Photo 5
Vue générale
du puits de départ
General view
of outlet shaft

Figure 3
Éléments finis PLAXIS
optimisant
la distance des tunnels

*PLAXIS finite-element
software
used for optimised
tunnel distance*

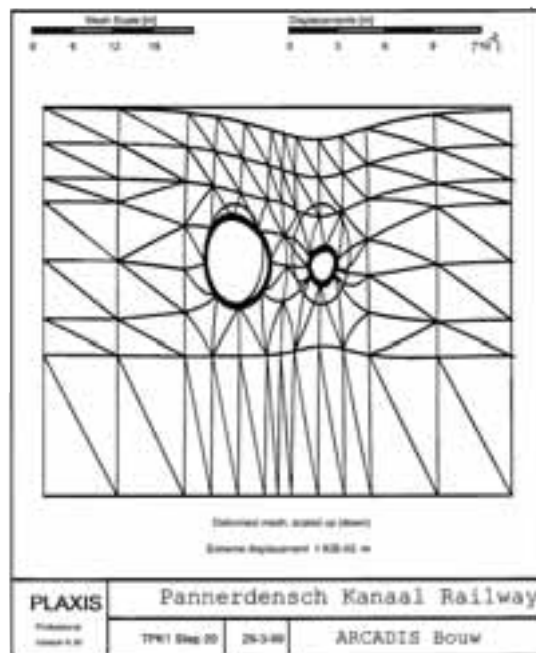


Photo 6
Cage d'essai
de voussoirs
type 1
Type 1
segment test cage



► dérivée d'un essai œdométrique et R le rayon du tunnel. Le paramètre α est lié à la géométrie et aux propriétés de la couche spécifique de sol et se situe en général entre 0,5 et 1. Une méthode d'éléments finis 2-D peut être utilisée pour déterminer une valeur précise, en tempérant par exemple les faibles valeurs locales dans les couches intermédiaires de sol tendre.

A un stade ultérieur, d'autres résultats furent obtenus de l'analyse d'éléments finis 2-D, en modélisant l'excavation du second tunnel à côté du premier tunnel. Compte tenu de la diminution de la réaction du sous-sol d'un côté, en raison de la conicité de la machine de forage, et de la formation d'un vide du côté arrière, potentiellement non idéal, le premier tunnel a tendance à s'écraser. Un tel phénomène engendre des moments de flexion plus importants, progressivement croissants. Les facteurs de multiplication de cet effet furent appliqués aux résultats obtenus de l'analyse du modèle

le annulaire enfoui, afin d'optimiser la distance entre les deux tunnels. Les analyses fournirent un écartement de 3 m à proximité des batardeaux de lancement et de réception, permettant ainsi d'épargner un grand nombre de mètres carrés pour les accès, tout en maîtrisant les forces à l'aide de segments du type II renforcés (cf. paragraphe "Conception des voussoirs"). La modélisation de cet effet fut réalisée au moyen de PLAXIS, un logiciel conçu spécialement pour la modélisation de sols tendres. A cet effet, un modèle de sol du type Mohr-Coulomb fut utilisé (figure 3). Après application de la charge de gravité, le premier tube (tunnel) fut activé, suivi de l'enlèvement du sol dans le premier tunnel. L'influence du forage du second tunnel fut modélisée en utilisant la méthode de déconfinement. En d'autres termes, la perte spécifique due à la conicité du tunnelier et à d'autres facteurs (exprimée en pourcentage du volume et liée aux affaissements tolérés au niveau du sol) est utilisée pour déterminer le pourcentage de relaxation du sol générant la même perte de volume. Cette méthode permet de décrire l'influence combinée de la conicité, de la pression du front et de la formation d'un vide du côté arrière.

Philosophie de conception

Le tunnel est constitué d'anneaux couplés de manière à créer un ensemble relativement rigide. Chaque anneau est constitué de sept segments et d'une clé de voûte, décalés d'un demi-segment afin d'améliorer l'étanchéité à l'eau. Le couplage des anneaux contribue à l'installation correcte des voussoirs et limite la déformation des anneaux. Cette conception est nécessaire en particulier pour la traversée des couches de sol tendre, sur le plan des déformations globales et de l'étanchéité à l'eau. Le couplage est réalisé au moyen de deux clés en béton par voussoir (photo 6), lesquelles sont conçues en tant que points de flexion intermédiaires. Une distribution uniforme de la charge dans chaque clé est obtenue au moyen d'une couche intermédiaire de feutre bitumineux. Les clés offrent une surface plane suffisante pour servir de points d'appui au tunnelier. Les joints longitudinaux présentent des faces planes d'une largeur d'environ un demi-segment. La capacité de flexion correspondante est assurée au moyen de points de flexion (en rotation). La capacité de flexion est limitée à un maximum déterminé – en fonction de la force normale et de la géométrie du joint –, de manière à obtenir ainsi une articulation souple en béton. Cette conception rend les calculs non linéaires et itératifs. Les clés et la disposition des joints longitudinaux augmentent la rigidité du système et permettent d'accuser des forces supérieures tout en réduisant les déformations. Une conception minutieuse des clés et des joints longitudinaux est dès lors indispensable.

Conception des voussoirs

Les problèmes causés par les poches d'argile tendre rencontrées ne purent être résolus de manière économique qu'en recourant à des parois relativement épaisses de 42 cm et en utilisant des cages renforcées différemment. Il existe par conséquent des segments du type I (100 kg d'armature/m²) dans les sables durs et du type II (120 kg d'armature/m²) dans les couches tendres. Après avoir opéré ce choix, il fut possible d'utiliser des voussoirs d'une largeur de 1,8 m. Ceci permet d'accélérer le cycle de construction tout en permettant aux différents types d'armatures de supporter les charges supérieures accusées par les clés en béton. L'utilisation de voussoirs du type II aux extrémités du tunnel permet de réduire davantage la distance entre les deux tubes, ce qui représente un autre avantage.

La fabrication des cages d'armature des voussoirs est robotisée par soudage d'éléments de structure (photo 7). Les panneaux préfabriqués des cages sont acheminés vers l'usine de construction de voussoirs, où les cages sont assemblées. Les barres d'angle n'étant pas courbées, elles peuvent être mobilisées efficacement aux points de contraintes maximales, aux angles des voussoirs et aux clés, sans influencer sur l'enrobage du béton.

CARACTÉRISTIQUES DU TUNNELIER

Le tunnelier utilisé pour ce projet est du type Mixshield, d'un diamètre extérieur de 9805 mm (photo 8 et figure 4). Cette machine Herrenknecht présente les caractéristiques suivantes :

- ◆ la partie arrière du bouclier est reliée à la partie avant au moyen d'une articulation capable d'être déplacée dans n'importe quelle direction, de manière à permettre à la machine de réaliser un rayon de 300 m ;
- ◆ la tête de forage est constituée d'une roue de coupe fermée capable de tourner dans les deux sens. Elle se compose essentiellement d'un moyeu central moulé et de quatre segments extérieurs conçus en tant que structures boulonnées et/ou soudées ;
- ◆ le bloc d'entraînement est déplaçable longitudinalement de manière hydraulique et est équipé de moteurs à transmission hydrostatique. Pour des coupes excentriques, le bloc peut être incliné sur un palier sphérique ;
- ◆ le bouclier est équipé d'un concasseur hydraulique du type à tenailles, capable de broyer des pierres de diamètre maximum 500 mm en cailloux susceptibles d'être évacués avec les boues de forage ;
- ◆ un système à deux rangées de brosses et une rangée d'écailles avec remplissage des vides avec

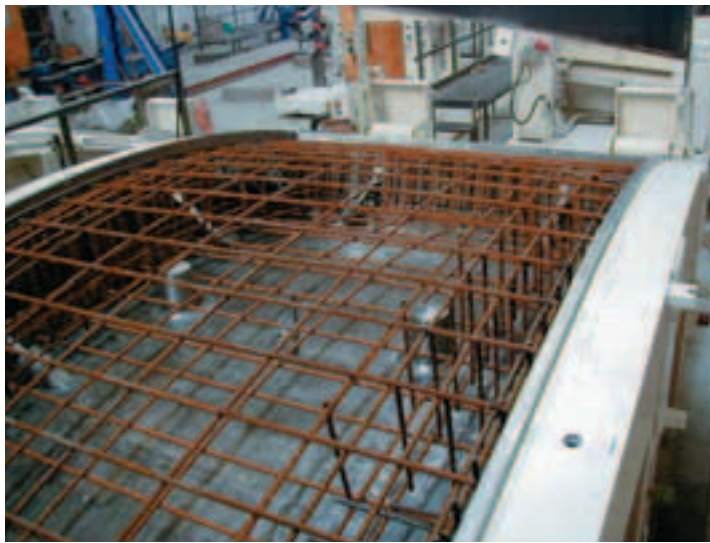


Photo 7
Armatures de voussoir dans son moule
Segment reinforcement in its mould

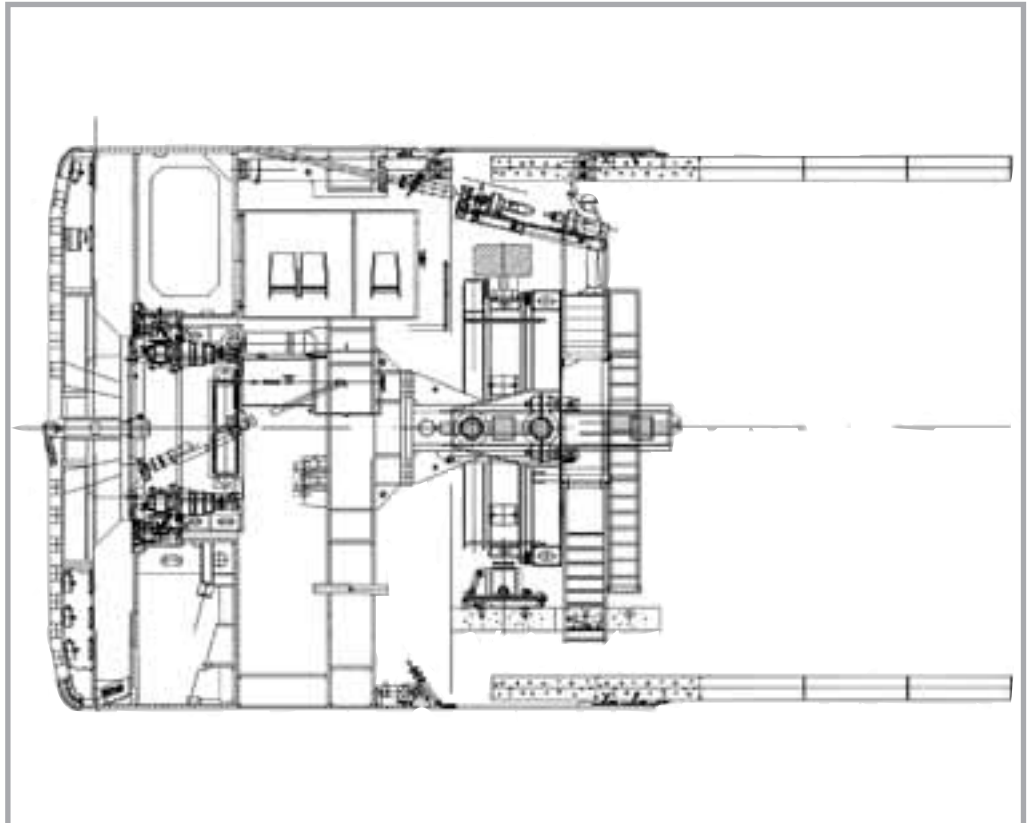


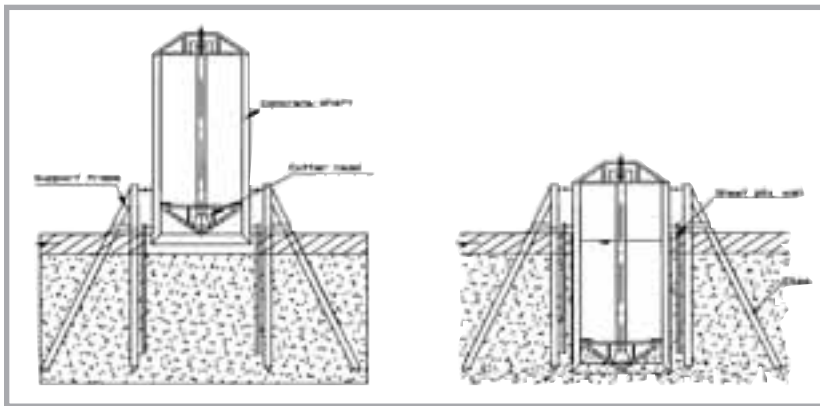
Figure 4
Tunnelier coupe longitudinale
Tunnel boring machine, longitudinal section



Photo 8
Réception du tunnelier
Acceptance of tunnel boring machine

du mastic est installé à l'arrière du bouclier ;
◆ une unité de forage peut être installée sur le châssis tournant de l'érecteur, afin de permettre le traitement du sol par injection à travers douze orifices inclinés prévus dans la partie supérieure du bouclier et de créer un parapluie périphérique

Figure 5
Séquence
de construction
du puits
de service
*Service shaft
construction
sequence*



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

NS Railinfrabeheer (groupe de gestion du réseau ferré Betuwe)

Bureaux d'études maître d'ouvrage

- Arcadis Bouw/Infra B.V. (NL)
- IMM (D)

Groupement d'entreprises

Comol Pannerdensch Kanaal V.O.F. :

- Campenon Bernard (F)
- CFE (B)
- Dumez-GTM (F)
- TBI Beton- en waterbouw (NL)
- Welling (NL)

Bureaux d'études entreprises

- Campenon Bernard (F)
- CFE Bruxelles (B)
- De Weger (NL)
- Haskoning (NL)
- IOL (IV-infra, Oranjewoud et Liense) (NL)
- Tunnel Consult Ltd. (UK)

Principaux sous-traitants

- Ballast Nedam Funderingstechnieken (tirants d'ancrage) (NL)
- CWI (installations techniques) (NL)
- Fundex (puits de service) (NL)
- Herrenknecht (TBM) (D)
- Hochtief (voussoirs) (D)
- Keller (vibroflottation) (D)
- OAC Kandia (terrassements) (NL)
- Groupement Voorbij/Geka (battage pieux béton et batardeaux) (NL)

si nécessaire. L'unité de forage permet également de forer des trous de sondage horizontaux jusqu'à une distance de 70 m en avant de la tête de forage de la machine.

■ Puits de service

Le puits de service présente un diamètre intérieur de 7 m. Celui-ci est nécessaire afin de créer un puisard d'une capacité de 80 m³, correspondant au contenu d'un wagon-citerne d'essence, et d'installer l'équipement technique. Des pompes électriques évacuent le liquide vers des puisards situés sous les bâtiments techniques, d'où il peut ensuite être retiré.

Le puits est construit à la manière d'un caisson ouvert, en utilisant une tête de forage verticale. La séquence de mise en œuvre de cette nouvelle méthode est la suivante (figure 5). Un batardeau de construction circulaire est d'abord réalisé au moyen de rideaux de palplanches. Dans ce batardeau, le sol existant est ensuite remplacé par du *flugsand* : un matériau granuleux présentant une très faible densité associée à un angle de friction élevé. Ce matériau assure un démarrage contrôlé du processus de forage. Un bord de coupe en acier, sur lequel le caisson en béton est construit, est ensuite installé dans le batardeau. Après construction des premières sections en béton du puits, des châssis de soutien en acier sont installés afin de guider le caisson aux cours des opérations de descente. La tête de forage est reliée à un moteur installé en haut du caisson. La tête de forage désagrège le sol, lequel est ensuite pompé dans un réservoir. Le caisson est descendu en deux phases. Après la première phase, la tête de forage est retirée du puits afin de permettre la seconde phase de construction. Par la suite, le puits est foré jusqu'à sa profondeur finale. En cours de descente du caisson, l'espace autour de celui-ci est rempli de bentonite afin d'assurer la stabilité du sol avoisinant et de réduire le frottement. Lorsque la profondeur requise est atteinte, la bentonite est remplacée par

un mortier de scellement destiné à stabiliser les puits. Un bouchon en béton immergé est utilisé afin de créer une dalle de plancher provisoire. Après durcissement du mortier de scellement, les derniers mètres peuvent être excavés. La longueur totale du puits est de 40 m.

La liaison entre le puits et les deux tunnels est réalisée par congélation du sol autour des futures ouvertures. Les tubes de congélation sont installés dans des ouvertures pratiquées dans le puits en béton, en utilisant un équipement spécial conçu pour éviter toute entrée d'eau en cours de construction. Les ouvertures sont réalisées en découpant des sections des voussoirs en béton, lesquels sont supportés par une structure métallique provisoire installée dans le tunnel. Les voussoirs en béton sont mis sous précontrainte dans le sens longitudinal au moyen de barres d'acier, afin de prévenir une déformation des parois. Après excavation du sol, une couche de béton projeté est appliquée. La structure finale en béton coulé sur place relie les voussoirs du tunnel au puits service.

Outre la galerie transversale au niveau du puits de service, il existe une autre galerie transversale entre les deux tunnels. Celle-ci se situe sur la rive est et est réalisée également par congélation.

■ FORAGE À TRAVERS UNE ANCIENNE SABLIERE PARTIELLEMENT REMBLAYÉE

Une ancienne sablière se trouve sur la rive est du canal de Pannerdensch. Un remblayage partiel, appelé Kandiadam ou digue Kandia, doit être réalisé dans la sablière, afin de permettre le forage d'un tunnel situé plus haut que le niveau inférieur initial de la sablière (figure 6). Les dimensions de ce remblai sont d'environ 200 x 200 x 20 m².

Les dimensions de la digue de remblai au cours des phases de construction et après, ne peuvent dépasser les niveaux de sol tolérés, au risque de provoquer une élévation du niveau d'eau dans le canal de Pannerdensch.

De plus, la couverture de sol au-dessus des tunnels doit être suffisante afin d'éviter les risques d'éclatement et de soulèvement des tunnels au cours des phases de construction et par la suite. La couverture de sol nécessaire, en se référant au poids volumique de sable normal, dépasserait la hauteur maximale tolérée. Une couche de magnétite est par conséquent prévue dans la zone juste au-dessous du niveau supérieur final de la digue. La magnétite est un minerai naturel, chimiquement très stable, capable de résister à un contact avec l'eau et l'air pendant de longues périodes, sans aucun phénomène de lessivage. Le poids volumique de la magnétite à l'état sec est d'environ 30 kN/m² et de 34 kN/m² à l'état saturé (porosité de 40 %). La digue de remblai ne peut devenir instable suite

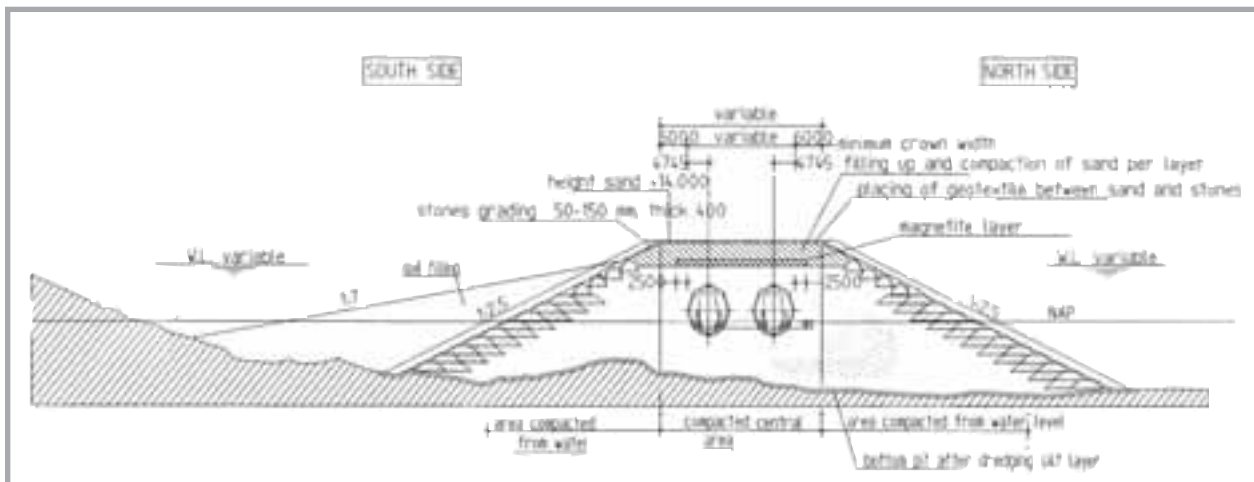


Figure 6
Coupe transversale type
des phases
de construction
du Kandiadam

*Typical cross section
of Kandia dam construction
phases*

à des vibrations ou à des pressions d'eau (provoquées par la vibroflottation en cours de construction, le forage ou le passage de trains). Des mesures effectuées dans le cadre d'autres projets, où la vibroflottation fut utilisée, montrèrent que les pressions d'eau élevées étaient très localisées et diminuèrent très rapidement en termes de temps et de distance.

Les pressions d'eau susceptibles d'apparaître dans une zone plus vaste furent définies dans le modèle PLAXIS de la digue de remblai. Les pressions d'eau provoquées par le tunnelier se sont avérées plus faibles que celles mesurées au cours du processus de vibroflottation.

Dans la conception de la digue de remblai, tous les mécanismes possibles de ruine furent modélisés au moyen de la méthode des éléments finis, comme par exemple l'inclusion de minces couches de limon entre deux couches de sable projeté, une surface de glissement en pente au sein de la masse de scellement des vides non encore durcie et de nombreux autres désordres.

Afin d'éviter les coûts supplémentaires d'un troisième type de voussoirs, la digue de remblai doit présenter des caractéristiques géotechniques de manière à ce que les segments du type II soient suffisants dans les calculs des anneaux couplés. A cet effet, une étude de sensibilité fut réalisée. Les effets sur la rigidité horizontale du modèle annulaire couplé furent ainsi définis en faisant varier la rigidité du sol dans les parties centrales et latérales de la digue ainsi qu'en faisant varier la largeur de celle-ci.

Les modules œdométriques de Young requis (E_{oed}) afin de permettre l'utilisation du second type de paroi sont mesurés sur place à l'aide d'essais de pénétration au cône. La corrélation entre les valeurs q_c des essais de pénétration et les valeurs E_{oed} est basée sur une étude de littérature et peut se résumer comme suit :

◆ $q_c = E_{oed}/5$ pour la partie centrale (la corrélation est valable pour du sable dense compacté ; dès lors présentant une densité relative $D_r = 90\%$);

◆ $q_c = E_{oed}/3$ pour les parties latérales (la corrélation est valable pour du sable non compacté ; dès lors présentant une densité relative $D_r = 70\%$).

La majeure partie de la digue de remblai étant réalisée sous le niveau de l'eau, une méthode de construction spéciale est nécessaire. Dans un premier temps, le limon présent dans la sablière est dragué. Ensuite, les bords de la digue sont réalisés en immergeant deux rangées de géoconteneurs géotextiles de chaque côté. Un géoconteneur est un très grand sac rempli de sable, fabriqué dans le bac d'une barge à fond ouvrant, et libéré sous l'eau en ouvrant la barge. Les conteneurs sont libérés lorsque la barge se trouve amarrée à l'endroit souhaité. Le positionnement d'une telle barge est un élément critique lors de la construction de structures immergées empilées et est réalisé à l'aide d'une technique moderne de positionnement.

Lors de l'utilisation de conteneurs géotextiles pour la réalisation de structures immergées, les principaux problèmes sont liés à l'intégrité des conteneurs au moment de leur lâcher et impact contre le fond, et à la précision de positionnement au fond de l'eau. Des résultats de mesures pratiques indiquent que le moment d'ouverture de la barge représente le cas de charge critique pour un géoconteneur rempli de sable ; l'impact contre le fond de l'eau représente le cas de charge critique pour un conteneur rempli de boue.

Par la suite, le corps en sable de la digue est projeté entre les digues provisoires formées par les géoconteneurs. Ce sable présente une granulométrie bien définie afin d'obtenir un processus de compactage optimal. Ce compactage est effectué après chaque couche dans les parties latérales et après réalisation de la hauteur totale au cours des phases de construction dans la partie centrale. La méthode de compactage utilisée est la méthode de vibroflottation mentionnée ci-dessus.

Au cours de la période où la machine de forage traverse deux fois la digue de remblai, le couronnement de la digue se trouve à un niveau de trois mètres plus haut que le niveau final. Cette épais-

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Pieux préfabriqués 450 x 450 : 2030
- Tirants d'ancrage Ø 108 mm : 1800
- Béton sous eau : 22 000 m³
- Béton hors voussoirs : 52 000 m³
- Aciers : 6 000 t
- Profilés métalliques pour batardeaux : 12 000 t
- Nombre de voussoirs : 14 400 (1 800 anneaux x 8 voussoirs) - Béton : 40 000 m³

Terrassements

- Déblais : 320 000 m³
- Remblais : 500 000 m³
- Excavation tunnel 255 000 m³
- Longueur totale du lot : environ 7 km, dont :
 - tranchées couvertes et ouvertes 1 100 m
 - tunnel bitube 1 600 m

seur supplémentaire de couverture de sol résulte de calculs de stabilité frontale. La rigidité horizontale requise, utilisée dans la méthode d'anneaux couplés, est bien entendu également nécessaire dans la phase finale et permanente. Les valeurs q_c , mesurées au niveau de la couronne durant la phase de construction, doivent être interprétées en tenant compte de l'excavation future de la digue. Il y a également lieu d'en tenir compte lors des essais de pénétration au cône dans les parties latérales.

A cet effet, divers tracés graphiques ont été élaborés et précisent la valeur q_c minimale à chaque point d'essai de pénétration au cône, en fonction du niveau réel du couronnement de la digue, du niveau d'eau et de la densité relative à atteindre. Afin d'éviter des résultats insuffisants au niveau des essais de pénétration au cône, l'efficacité de la méthode de vibroflottation utilisée dans le cadre d'autres projets est interprétée statistiquement. L'énergie de vibration et la distance entre les trous de sondage sont déterminées de manière à ce que des valeurs q_c trop faibles ne dépassent pas 5 %. Sur base de cette approche, une zone d'essai est compactée et des essais de pénétration au cône sont effectués. Le procédé peut être optimisé en se référant aux résultats obtenus dans la zone d'essai.

■ RÉFÉRENCES

- Heijmans, R.W.M.G. & Jansen, J.A.G, 1999. *Design Features of the Pannerdensch Kanaal Tunnel in the Betuweroute*, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 14, Number 2.
- Heijmans, R.W.M.G. & Jansen, J.A.G. & Reijgersberg, A.A.J, 1998. *Ontwerp en dimensionering van betonnen liningsegmenten*, Cement, Number 4.
- Jonker, J. H, 1999. *Bored tunnels on Holland's Betuweroute*, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 14, Number 2.
- Van Seters, A.J. & Smits, M. Th.J.H. & Heijmans, R.W.M.G. & Jansen, J.A.G, 1999. *Non-ballasted Track in Railway Tunnels - A cost-effective Solution Case : Pannerdensch Kanaal Railway Tunnel*, XIIth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- R.W.M.G. Heijmans. J.A.G. Jansen, H. Mortier, E. Paillas, 2001, Proceedings to the AITES-ITA World Tunnel Congress, Milan, June 2001, *Pannerdensch Kanaal Railway Tunnel : adjusting to the soil*.

ABSTRACT

The Pannerdensch Kanaal tunnel. The first French-bored tunnel in the Netherlands

E. Paillas, H. Mortier, Fr. Dudouit, Fr. Renault

This article describes the dual-tube railway tunnel under the Pannerdensch canal in the Netherlands. The project forms part of the Betuwe route, a railway line designed for freight transport between the Port of Rotterdam and the German border. The article explains in particular why, given the geology of the site, this project calls for different types of lining with steel-reinforced segments. The authors also explain the design philosophy of the system and the technical consequences of boring through an old re-filled sand pit of about 200 x 200 x 20 m³.

RESUMEN ESPAÑOL

El túnel del Pannerdensch Kanaal. El primer túnel excavado según técnica francesa en Holanda

E. Paillas, H. Mortier, Fr. Dudouit y Fr. Renault

En este artículo se presentan los aspectos más sobresalientes del túnel ferroviario bitubo bajo el canal de Pannerdensch, en Holanda. El proyecto forma parte del trazado Betuwe, línea ferroviaria destinada al transporte de mercancías entre el puerto de Rotterdam y la frontera alemana. El artículo precisa, fundamentalmente, los motivos por los cuales, habida cuenta de la geología del emplazamiento, este proyecto requiere diversos tipos de revestimientos formados por dovelas armadas, así como la filosofía del diseño del sistema y las consecuencias técnicas de la perforación a través de una antigua cantera de extracción de arenas terraplenada de, aproximadamente, 200 x 200 x 20 m³.

Le projet LHC (Large hadron collider) du CERN - Lot 3A

Afin de permettre la mise en œuvre d'un nouvel accélérateur à particules (LHC - Large hadron collider) de très importants travaux de génie civil ont été lancés par le CERN (organisation européenne pour la recherche nucléaire) depuis 1998. Le groupement d'entreprises chargé du lot 3A doit, après la réalisation d'un puits et d'un tunnel, concentrer tous ses efforts sur l'exécution de nombreuses cavernes dans l'environnement tout à fait exceptionnel et inhabituel que constitue le laboratoire du LEP (Large electron positron collider ou grand collisionneur électron positon).

Gérard Petard
DIRECTEUR GÉNÉRAL
Spie Batignolles TPCI

Gérard Vertut
DIRECTEUR OPÉRATIONNEL
Spie Batignolles TPCI

Paul Roux
DIRECTEUR D'EXPLOITATION
Spie Batignolles TPCI

René Nogues
DIRECTEUR DE TRAVAUX
Spie Batignolles TPCI

LE PROJET LHC

Actuellement le LEP consiste en un tunnel quasi-circulaire de 3,8 m de diamètre et de 27 km de circonférence se trouvant à une profondeur variant de 50 à 140 m. Il s'étend entre les monts du Jura et la frontière franco-suisse près de Genève (photo 1). Il est équipé de quatre détecteurs géants installés dans des cavernes spéciales. Ces détecteurs suivent les collisions des particules subatomiques. Le LHC (Large hadron collider) est la nouvelle phase de développement du CERN. Le projet a été lancé en 1995 et les premières expériences devraient débuter en 2006.

L'objectif est de modifier les installations existantes du LEP et d'installer un accélérateur plus puissant où des faisceaux de protons de haute densité entreraient en collisions frontales à des énergies jamais atteintes auparavant. On pense que ces expériences permettront une meilleure connaissance des événements qui ont conduit au "big bang".

Avec ce projet, le CERN va adapter le LEP existant pour installer de nouveaux équipements. Les travaux de génie civil se déroulent en partie en parallèle avec les expériences du LEP et les travaux exécutés à partir du tunnel actuel sont réalisés après l'arrêt du LEP et son démantèlement.

LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

Les travaux de génie civil consistent essentiellement en la création de tunnels et de cavernes, la construction ou la modification de bâtiments en surface, tout ceci pour abriter les nouveaux équipements.

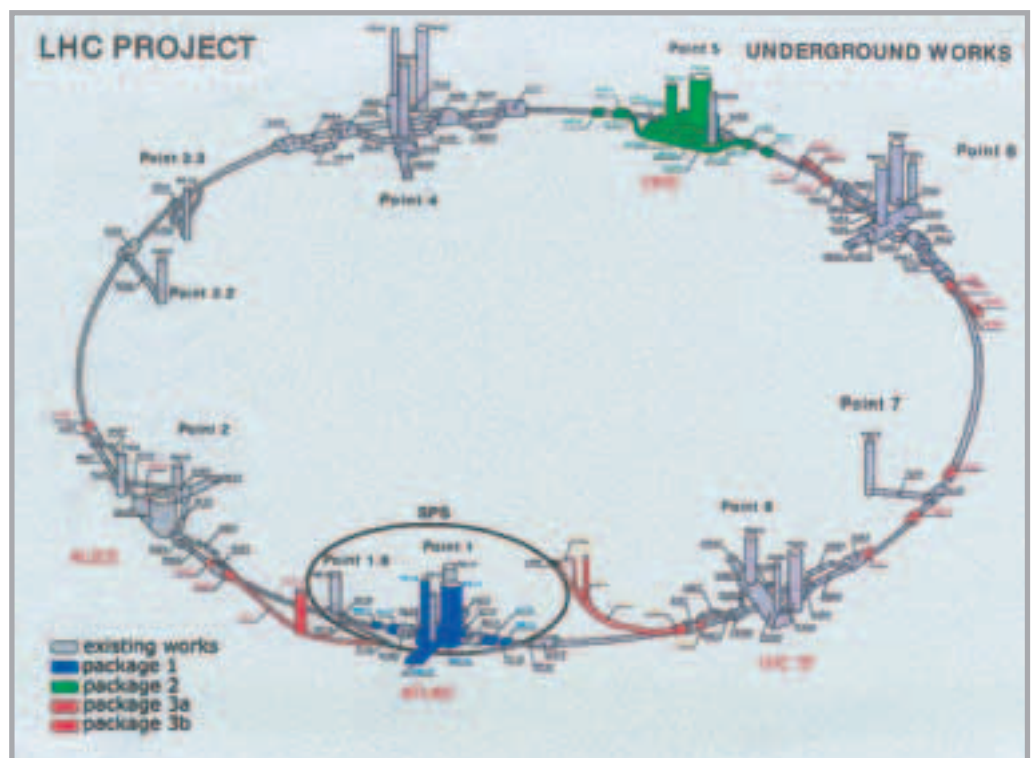
Ils ont été divisés en trois lots répartis autour du tunnel existant comme précisé sur la figure 1.



Photo 1
Vue générale
du LEP
General view
of LEP

© CERN

Figure 1
Les travaux souterrains
sur l'anneau du LEP
Underground works
on the LEP ring



► **LE LOT 3A**

En juillet 1998, le groupement d'entreprises Taylor Woodrow (UK), Amec (UK) et Spie Batignolles TPCI (TWASB) a débuté les travaux du lot 3A qui comprennent des travaux de surface et des travaux souterrains dispersés sur huit sites existants, en territoire français : Meyrin - Point 1.8 - Point 2 - Point 3.2 - Point 4 - Point 6 - Point 7 - Point 8. Le groupement a également en charge la gestion de la dé-

charge où est stockée la totalité des matériaux extraits par tous les lots de génie civil.

D'une manière générale, les ouvrages souterrains sont réalisés dans la molasse sédimentaire du tertiaire située sous la couche de moraines glaciaires du quaternaire de la plaine de Gex au pied des montagnes du Jura.

■ **LA RÉALISATION DU PUIITS**

Le puits PMI2 qui servira en phase définitive à l'introduction des aimants du LHC a une forme elliptique de 12 m x 18 m et une profondeur de 50 m. Pour traverser les premiers 25 m de moraine il a tout d'abord été nécessaire de réaliser une paroi moulée classique d'un mètre d'épaisseur, par panneaux de 8 m de largeur, dont le pied a été ancré de 1,5 m dans la molasse à l'aide de tirants précontraints de 20 à 30 m de longueur.

L'excavation de cette paroi a été réalisée par benne à câble sous boue bentonitique après l'exécution de murettes guide. Les joints de panneaux sont alors mis en place et les cages d'armatures descendues en un seul panneau. Le bétonnage par tube plongeur peut alors débuter.

L'excavation du puits s'est alors déroulée à l'abri de cette paroi moulée, par passes successives de 1,5 m de hauteur à l'aide d'une pelle mécanique équipée d'un godet. Les déblais sont évacués par bennes de 5 m³ à l'aide d'une grue à tour située en bord du puits.

Le niveau de la molasse atteint, la base de la paroi moulée a été confortée par une paroi marocaine périphérique de 1,5 m de hauteur et 1,5 m de profondeur.

L'excavation du puits a continué à l'aide d'une pelle mécanique équipée d'un brise-roche ou d'une fraise de 92 kw, par passes successives de 1,5 m de hauteur. Le soutènement est composé de boulons d'ancrages diamètre 25 mm, longueur variable de 3 à 5 m, et de 15 à 20 cm de béton projeté fibré recouvert de 5 cm de béton projeté non fibré.

La forme elliptique du puits a conduit l'équipe du chantier à développer un système de guidage spécifique pour assurer l'implantation et le contrôle di-

Photo 2
Vue du système de contrôle du puits elliptique
View of elliptical shaft control system

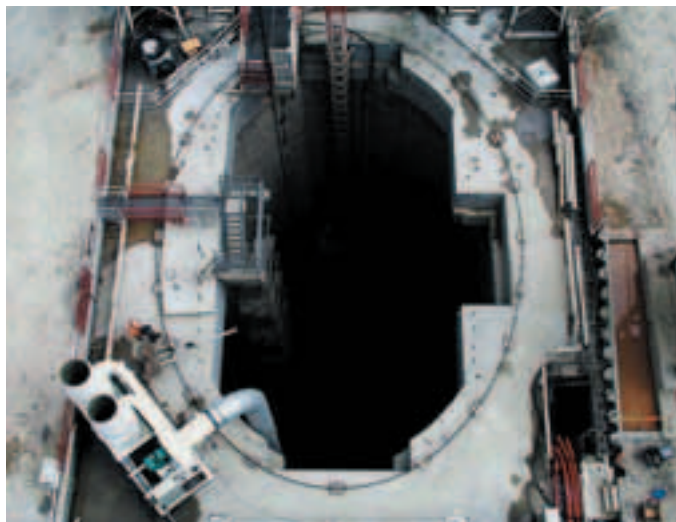
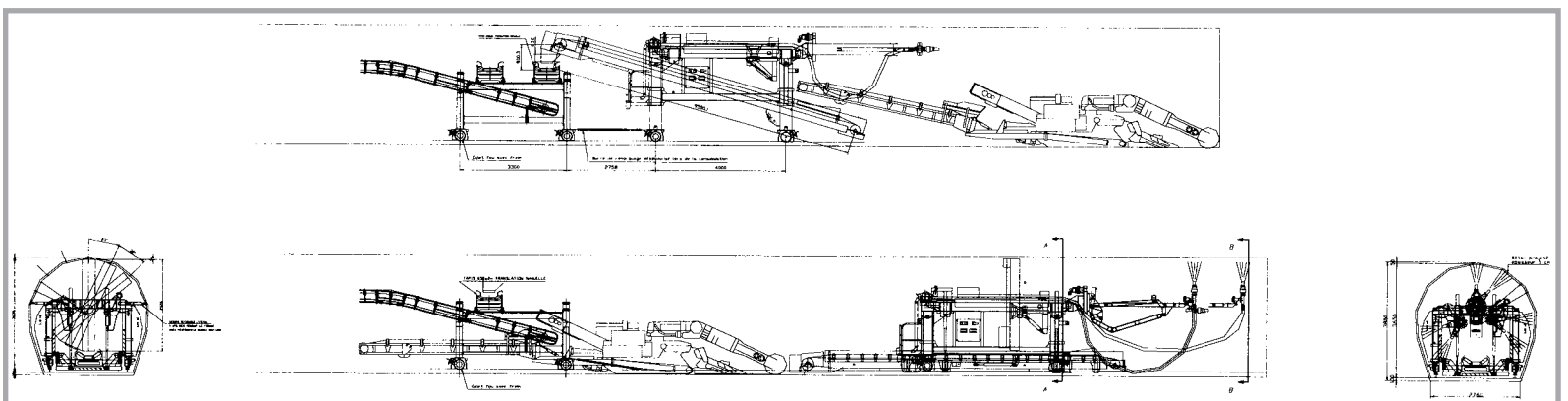


Photo 3
Vue du portique multifonctionnel à l'extérieur
View of multipurpose portal outside



Figure 2
Schéma du portique multifonctionnel
Diagram of multifunctional portal



mensionnel de cette dernière phase d'excavation. Il est constitué d'un chariot parcourant un rail cintré décrivant l'ellipse situé en tête de puits. Ce chariot est équipé d'une potence sur laquelle est suspendue une câblette d'acier et un poids de 25 kg permettant très simplement de mesurer la distance entre le fil et la paroi du puits (photo 2).

■ LA RÉALISATION DU TUNNEL T12

Une fois la base du puits atteinte, l'excavation du tunnel d'injection T12 (environ 12 m² de section en fer à cheval sur 2650 m de longueur) a pu être entreprise dans les deux directions opposées selon le grand axe de l'ellipse.

Le creusement est réalisé à l'aide de deux machines à attaque ponctuelle électrique Alpine SM130 de dimensions réduites (2 m de large) et équipées d'une tête de 160 kW.

L'évacuation du marinage se fait à l'aide de bandes transporteuses de 500 mm de large fixées aux parois du tunnel apportant les déblais au fond du puits. Ceux-ci sont ensuite repris par un "charge et roule" électrique et chargés dans des bennes de 5 m³. L'évacuation en surface se fait soit à l'aide d'une grue à tour soit à l'aide d'un treuil et d'une trémie automatique de type Akros. Les matériaux sont alors évacués par des camions bennes et acheminés à la zone de dépôt.

Un astucieux système de "pont" a été développé par le chantier pour permettre la mise en place des tapis par sections (de 20 à 60 m de longueur selon le tracé du tunnel), à l'arrière du portique multifonctionnel, sans impact sur la production.

La faible section à excaver ne permettant pas le croisement des divers engins nécessaires au creusement a conduit le chantier à inventer, en collaboration avec CIFA, un portique regroupant toutes les fonctions à savoir : l'évacuation du marinage, la mise en place du béton projeté, des boulons de soutènement et la réalisation des sondages éventuels à l'avancement. Ce portique permet également le passage de la machine à attaque ponctuelle pendant les phases de creusement (figure 2 et photo 3).

Ce portique est composé d'un chariot automateur à structure mécano-soudée circulant sur des rails installés à l'avancement. La motorisation est assurée par deux moteurs hydrauliques pilotés par une télécommande. Il est équipé :

- ◆ d'un bras robot pour béton projeté actionné par commandes électriques ;
- ◆ d'une sondeuse rotative hydraulique Atlas Copco Diamec 262 ;
- ◆ d'un transporteur à déblai de 600 mm de large, d'une longueur de 10 m permettant un débit de 150 m³/h.

Malgré la présence d'un système de pulvérisation d'eau sur la fraise, le creusement dans la mo-

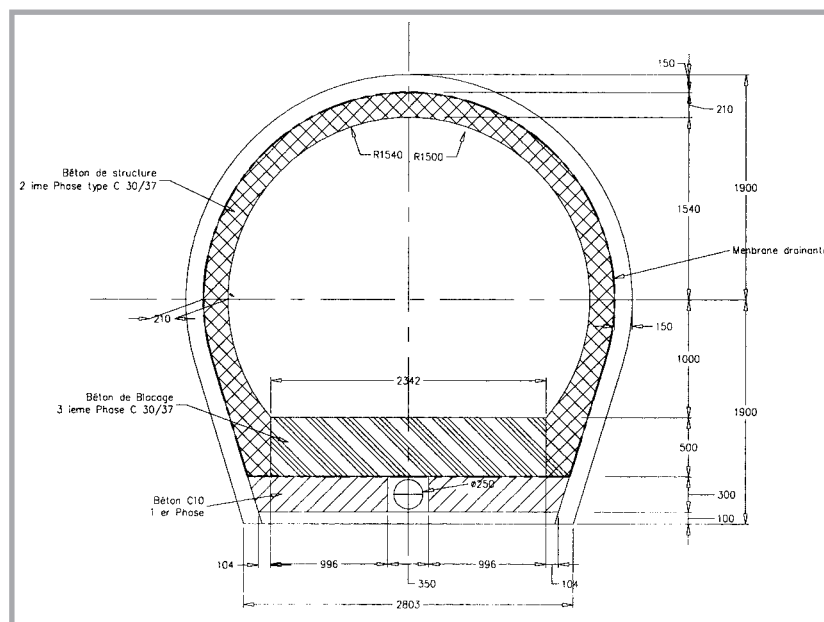


Figure 3
Coupe type
du tunnel T12
Typical section
of tunnel T12

lasse créé une importante quantité de poussière.

Afin de limiter au mieux l'exposition du personnel :

- ◆ un dispositif de radio commande est utilisé par l'opérateur de la machine à attaque ponctuelle ;
- ◆ un système de ventilation très puissant a été utilisé avec mise en dépression du front pour capter au plus près les émissions de poussières. Il est composé d'un dépoussiéreur en surface et d'une batterie de quatre ventilateurs reliés par des conduits rigides de 800 mm de diamètre. Des gaines souples spiralées sont utilisées au droit du portique multifonctionnel.

Le soutènement provisoire, dont le but est de confiner le terrain "découvert", est composé, selon la géologie rencontrée :

- ◆ de boulons d'ancrage passifs type Swellex de 25 mm et de 3 m de longueur ;
 - ◆ de béton projeté fibré de 5 à 10 cm d'épaisseur ;
 - ◆ de béton projeté non fibré de 5 cm d'épaisseur.
- L'excavation du tunnel en direction de l'anneau SPS a dû être stoppée à 200 m de la jonction car le SPS était encore en fonctionnement. Après l'arrêt de ce dernier, le creusement a pu reprendre. Les vingt derniers mètres étant considérés comme une zone potentiellement radioactive des mesures très particulières et inhabituelles pour des travaux souterrains ont dû être mises en œuvre, telles que :
- ◆ port d'un film badge et de vêtements spécifiques par le personnel ;
 - ◆ séparation des déblais par utilisation de matériel dédié (*dumpers*, bennes, trémies...);
 - ◆ contrôles réguliers effectués par les services compétents du CERN sur les personnels, matériels et matériaux.

En fait, le niveau de radioactivité détectée n'était pas supérieur au niveau rencontré dans les autres zones du chantier.

A la fin des excavations, un revêtement béton de 25 cm d'épaisseur est mis en œuvre pour obtenir un tunnel fini de 3 m de diamètre.

Une membrane de drainage type DELTA MS est appliquée sur le soutènement provisoire avant la mise en place des deux coffrages métalliques de 10,8 m de longueur utilisés pour réaliser le revêtement. Le bétonnage se fait par plots alternés après la réalisation de la première phase de radier de 30 cm d'épaisseur (figure 3), la seconde phase du radier

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

CERN : Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

Maitre d'œuvre

Brown & Root - Intecs - HP

Groupement d'entreprises titulaires

- Taylor Woodrow (mandataire)
- Spie Batignolles TPCI (gérant)
- Amec

Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Terrassements : Famy
- Fondations spéciales : Spie Fondations
- Charpentes métalliques : CM Paimboeuf
- Etanchéité - Bardage : SMAC Acieroid
- Armatures : Presider - Pro-Ferraillages
- Membrane de drainage : El GCC
- Béton structure : SATM
- Béton projeté : Cantalina - Mauer
- Bandes transporteuses : BSA Boyer
- Camion électrique : Advens
- Coffrages tunnel : CMC
- Gains de ventilation : Air-Forming
- Armatures : 325 t
- Charpente métallique : 900 t

► (50 cm d'épaisseur) comprenant le système de drainage est alors réalisée. Des *mixers* de type Normet sont utilisés pour l'approvisionnement du béton mis en œuvre dans les coffrages par pompe. Le tunnel ainsi bétonné étant utilisé comme laboratoire pour les futures expériences du CERN, une peinture émulsion acrylique est appliquée sur la totalité des parois latérales et de la voûte. Deux tunnels similaires en section mais de longueur réduite (350 m) seront réalisés au point 6 en utilisant exactement les mêmes techniques.

■ LA RÉALISATION DES CAVERNES

Après le démontage par le CERN, dans les zones nécessaires, des différents équipements (câbles, tuyauteries, matériels électroniques, charpentes métalliques...), composant le LEP, dix cavernes sont à réaliser à partir du tunnel/laboratoire actuel avec des accès par puits profonds (104 m), très limités en dimensions et très éloignés du point de réalisation des travaux (jusqu'à 3 500 m de distance).

Afin de ne pas empoussiérer les cavernes existantes ni les 27 km de tunnel un système de ventilation puissant, complexe et très efficace devra être mis en œuvre avec des cloisons étanches équipées de filtres et ventilateurs pour assurer la ventilation des zones de travaux et maintenir la ventilation des zones occupées par les entreprises en charge du démantèlement du LEP.

Les faibles dimensions des galeries d'accès et l'évolution dans cet environnement très spécifique, ont conduit le chantier à développer, en collaboration avec Advens, un camion électrique d'un PTR de 30 t. Il utilise une motorisation électrique avec

une transmission hydrostatique. Il possède un double poste de conduite (cabine basculable à chaque extrémité) avec deux plateaux : un pour les batteries (autonomie 8 heures) et un pour la benne à déblais ou à béton. Les quatre essieux moteurs et directeurs autorisent un rayon de braquage intérieur de 8,73 m (figure 4).

Les dimensions de ces cavernes sont variables : 10 m de largeur, de 15 à 40 m de longueur et de 10 à 13 m de hauteur soit de 35 à 100 m² de section.

Le principe suivant de creusement sera appliqué à l'ensemble des cavernes :

- ◆ la démolition du revêtement béton existant est exécuté à l'aide d'une pelle hydroélectrique de type Brokk équipée d'un brise-roche. Le creusement dans la molasse est alors réalisé, par phases successives, soit par la même pelle Brokk soit par une machine à attaque ponctuelle électrique Alpine SM130. Le choix du type de matériel est fonction de la géométrie et des dimensions des cavernes à réaliser ;

- ◆ l'évacuation des déblais sera faite généralement par des tombereaux et amenés en surface par bennes à l'aide d'une grue à tour.

Le système d'évacuation par bandes transporteuses sera de nouveau employé au point 6.

Le soutènement provisoire sera, comme ailleurs, composé de boulons d'ancrage et de béton projeté fibré et non fibré.

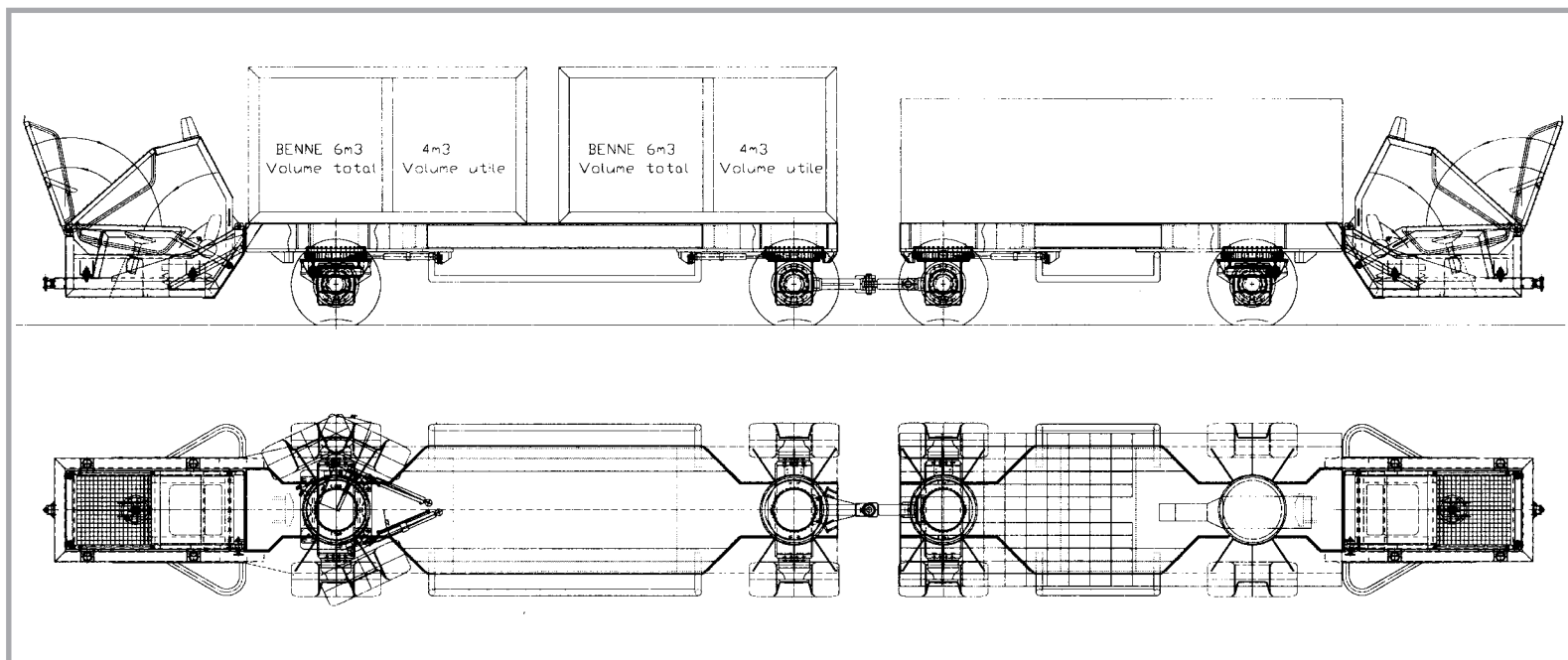
L'ensemble de ces dix cavernes sera, après mise en place d'une membrane de drainage, revêtu de béton sur une épaisseur de 20 à 40 cm à l'aide de coffrages métalliques spécialement étudiés pour tenir compte des faibles dimensions et des restrictions d'accès.

Des armatures type treillis seront uniquement mises en œuvre dans les tympans.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Excavation (souterrain) : 70 000 m³
- Béton : 48 000 m³
- Béton projeté : 12 000 m³
- Armatures : 325 t
- Charpente métallique : 900 t

Figure 4
Le camion électrique
The electric lorry



Tout comme pour les tunnels, la totalité des bétons de ces cavernes sera revêtue d'une peinture émulsion acrylique.

■ LE PROGRAMME

La date de début des travaux a été fixée au 13 juillet 1998 pour une durée totale de 57 mois.

Pendant les 28 premiers mois et en attendant l'arrêt puis le démontage du LEP, l'activité du chantier est concentrée sur le puits PMI2 et le tunnel T12.

La montée en puissance est ensuite impressionnante puisque les travaux (excavation et revêtement) se déroulent concomitamment à tous les Points nécessitant la réalisation d'une installation de chantier à chacun d'entre eux.

Le programme contractuel est divisé en dix-huit sections ayant chacune une "fenêtre" d'intervention dont le positionnement dans le temps est dicté par les travaux de démontage du LEP et de montage du LHC.

■ LE CONTRAT

Signé le 18 juin 1998 pour un montant HT de 50,7 M (comprenant les bâtiments de surface), il est de langue anglaise et de type FIDIC (Fédération internationale des ingénieurs conseils) avec application d'un bordereau des prix aux quantités réellement exécutées.

Compte tenu des très nombreuses modifications apportées par le CERN en terme de délais et de volume des travaux, un avenant (Supplemental Agreement) a été signé le 15 septembre 2000 après plusieurs mois de négociations.

Cet avenant, basé sur la collaboration et le partenariat, introduit la définition commune (entreprise, maître d'œuvre et client) d'un prix objectif avec un système de bonus-malus en fonction du coût final des travaux. De plus les parties s'accordent à optimiser conjointement l'ordonnement et les choix techniques au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

■ CONCLUSION

En plus d'un chantier classique de tunnel, le fait d'exécuter des cavernes dans un environnement de type "laboratoire expérimental" (tunnel propre et peint), dans un délai très court, est très inhabituel pour les hommes de travaux souterrains. Il constitue un important challenge pour toutes les équipes du chantier qui devront se mobiliser pour assurer une logistique sans faille.

ABSTRACT

The CERN LHC project - Lot 3A

G. Petard, G. Vertut, P. Roux, R. Nogues

To enable the setup of a new particle accelerator, i.e. the LHC (Large Hadron Collider), very extensive civil engineering works were undertaken by the CERN (European organisation for nuclear research) since 1998. The consortium that was awarded the works for Lot 3A must, after completing a shaft and a tunnel, concentrate all its efforts on the execution of many caverns within the exceptional environment of the LEP (Large Electron Positron) collider.

RESUMEN ESPAÑOL

El proyecto LHC (Large hadron collider) del CERN - lote 3A

G. Petard, G. Vertut, P. Roux y R. Nogues

Con objeto de permitir la implementación de un nuevo acelerador de partículas (LHC - Large hadron collider) se han iniciado importantes obras y trabajos de ingeniería civil desde 1998 por parte del CERN (Organización europea de investigaciones nucleares). El grupo de empresas constructoras ha tenido a su cargo el lote 3A deberá, tras la ejecución de un pozo y de un túnel, concentrar todos sus esfuerzos en la existencia de numerosas cavernas en el entorno, sumamente excepcional e inhabitual que constituye el Laboratorio del LEP (Large positron collider o Gran colisionador electrón positrón).

Collecteur de décharge

Un premier tronçon à Aubervilliers

Dans le cadre de la construction de la première tranche du collecteur de décharge du Pantin-La-Briche, l'entreprise Montcocol TP a piloté la réalisation d'un premier tronçon à Aubervilliers. Des installations réduites et un matériel compact ont permis d'implanter un chantier de tunnelier au centre d'un environnement urbain dense. Le franchissement d'une zone polluée par des hydrocarbures a été réalisé après une analyse approfondie des risques liés aux travaux en atmosphère viciée. L'article décrit le chantier et les techniques utilisées lors de son exécution.

Le S.I.A.A.P. (Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne) a confié au groupement d'entreprises Coccinelle - Montcocol TP - l'Union Travaux - Sefi la construction de la première tranche du collecteur de décharge du Pantin-La-Briche. Le projet de décharge du Pantin-La-Briche constitue un des aménagements prioritaires prévus par le schéma directeur d'assainissement de la région parisienne. C'est un collecteur d'eaux pluviales de 4,5 km qui aura pour fonction principale de soulager le réseau existant et ainsi de réduire les risques d'inondation à Pantin, Aubervilliers, La Courneuve et Saint-Denis (figure 1). Alimenté par deux prises d'eaux sur le collecteur Pantin-La-Briche, il constituera une jonction vers le bassin de retenue de la Plaine, situé au pied du Stade de France, à Saint-Denis.

La réalisation de ce collecteur s'inscrit dans un programme de modernisation de l'assainissement qui prévoit, entre autres, la réalisation d'unités de dépollution des eaux pluviales. L'objectif de cette opération est double. Il s'agit d'une part, de réduire les risques d'inondation en Seine-Saint-Denis en limitant les débits dans le réseau actuel, et d'autre part, de lutter contre la pollution en Seine, en évitant les rejets directs et en décantant les eaux plu-

viales. Le projet de décharge du Pantin-La-Briche a été divisé en quatre tranches de travaux.

La maîtrise d'œuvre pour la conception et la construction de l'ensemble du projet a été confiée à la D.E.A. (Direction de l'Eau et de l'Assainissement) du Conseil général de la Seine-Saint-Denis.

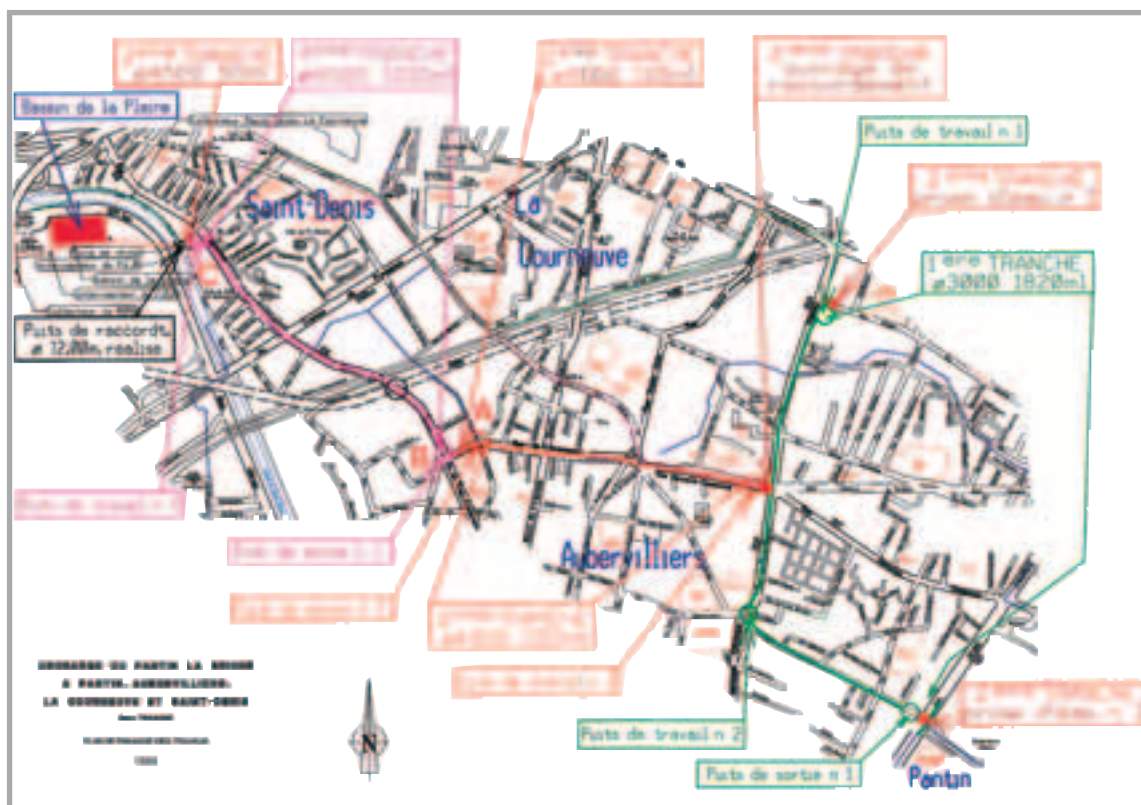
Les travaux de construction du collecteur de décharge du Pantin-La-Briche ont débuté en septembre 1999 par le chantier de la première tranche et seront achevés, toutes tranches confondues, fin 2003.

LE COLLECTEUR RÉCHOSSIÈRE

La première tranche consiste en la réalisation d'un ouvrage de 3,00 m de diamètre, long de 1820 m, sur les communes de La Courneuve et d'Aubervilliers. Pour la réalisation de cette tranche, trois puits sont nécessaires. Les entreprises Montcocol TP et l'Union Travaux ont la charge de construire le tronçon Réchossière à Aubervilliers.

Le collecteur est implanté sous le niveau de la nappe, à une profondeur comprise entre 13 et 19 m par rapport au fil d'eau. Les terrains traversés sont essentiellement le marno-calcaire de Saint-Ouen, le Mortefontaine, le Ducy et localement les sables

Figure 1
Plan d'ensemble
General layout



du Pantin-La-Briche (Seine-Saint-Denis)

d'Ezanville et de Beauchamp. L'aquifère principal est constitué par le marno-calcaire et le Ducy et la charge d'eau par rapport au radier de l'ouvrage varie de 6 à 8 m. La perméabilité moyenne du Saint-Ouen est faible (de l'ordre de 10^7 m/s à 3×10^7 m/s).

Un chantier de creusement compact

Le puits de travail est un ouvrage circulaire de 14 m de diamètre intérieur, réalisé en parois moulées. Il est implanté sur un carrefour très circulé, parmi de nombreux réseaux concessionnaires dont certains ne peuvent être déviés. Le projet s'insère dans un milieu urbain dense qui impose au collecteur un parcours sinueux.

Le tracé qui en résulte comporte notamment une courbe de 150 m de rayon sur les cent premiers mètres au départ du puits d'accès. Sur cette portion courbe les distances entre l'extrados de l'ouvrage et les limites des propriétés voisines sont inférieures au mètre. L'ensemble de ces contraintes liées constitue une des particularités de ce chantier.

L'entreprise a réalisé une emprise formant un rond-point au centre duquel se situe le puits de travail. Pour répondre aux contraintes d'un trafic dense, les dimensions de cette emprise ont été restreintes au maximum. Un ensemble très compact a été installé afin d'optimiser l'occupation de l'espace résiduel. En surface, la trémie de stockage des déblais a été installée sur une voie de circulation tangente au puits de travail, traversant l'emprise dans le prolongement de l'avenue principale du carrefour. Cette voie qui constitue l'unique accès, est empruntée par tous les véhicules desservant le chantier. La trémie a été implantée de façon à permettre le chargement ou le déchargement, dans les limites de l'emprise, d'un semi-remorque dont le tracteur est engagé sous son portique (photo 1). Autour du puits ont été organisés le stockage des anneaux de voussoirs constituant le revêtement du collecteur et les installations de production des énergies, les réseaux de fluides cheminant sur la poutre de couronnement de l'ouvrage.

La grue à tour desservant l'ensemble du site a été montée sur un fût de scellement à l'intérieur du puits. Il en est de même pour la centrale de fabrication du mortier de serrage qui comporte notamment deux silos de stockage de 35 t chacun et une trémie de stockage de 22 m^3 de sable (photo 2). La position de la trémie à sable permet de recevoir le chargement complet d'une benne de semi-



Photo 1
L'accès au puits de travail

Access to working shaft



Photo 2
Le puits de travail
The working shaft



Photo 3
Le train de marinage
The mucking train

remorque vidant par le portail aménagé dans la protection périphérique du puits. Le creusement et le revêtement du collecteur ont été réalisés par un tunnelier de fabrication française "Bessac", reconditionné pour ce chantier. C'est une machine de type fermée à attaque ponctuelle, avec confinement de la chambre d'abattage par air comprimé. La longueur de l'ensemble tunnelier et train suiveur n'est que de 23 m, ce qui autorise le passage en courbe de faible rayon. De la même façon, le train de marinage a une longueur totale de 18 m (photo 3). Le principe de chargement de l'anneau de voussoirs sur le chariot qui les transporte réduit encore la longueur minimum en puits nécessaire



Photo 4
Le collecteur
The sewer main

au fonctionnement de l'ensemble. Ainsi la voie de stationnement du train de marinage ne mesure que 13 m. Elle est implantée entre la fosse de la benne de reprise des déblais et l'ensemble grue à tour et centrale de fabrication du mortier. L'adoption d'un train court ne comportant qu'une seule benne a permis l'économie de la construction d'une galerie de recul. Le handicap d'une capacité de chargement réduite a été compensé par le rythme de rotation du train élevé grâce au système de benne basculante. La meilleure cadence ainsi obtenue est de l'ordre de 240 m par mois en deux postes de travail de 7 heures chacun. La foration de ce tronçon de 700 s'est achevée le 23 janvier 2001 (photo 4).

pétrolière de type kérosène et confirmé l'absence de composés organiques volatils. Les tests ont fourni des valeurs significatives, comprises entre 3600 mg d'hydrocarbures totaux par kilogramme de terrain et le seuil de détection (figure 2). Par ailleurs, les sondages ont permis d'estimer le volume des terres polluées et leur répartition géographique.

Sur la base de ces résultats, l'étude des propriétés du kérosène, notamment les critères d'explosivité et de toxicité, puis l'analyse des conditions de creusement (caractéristiques du matériel et mode opératoire) ont permis de conclure à l'absence du risque d'explosion. Dans ces conditions, la pression partielle de kérosène dans la chambre d'abattage, résultant de l'évaporation du polluant absorbé dans le terrain abattu, reste en dessous de la L.I.E. (Limite inférieure d'explosivité) quand bien même la tension de vapeur saturante serait atteinte. L'étude a également démontré que le risque d'intoxication dans la chambre, pendant une éventuelle intervention en milieu hyperbare, était inexistant du fait du débit de ventilation généré par les pertes d'air comprimé dans le terrain. Un analyseur de type Polytron calibré pour les hydrocarbures totaux et équipé d'une alarme a été installé sur le tunnelier. La réception continue d'échantillons de gaz détendu provenant de la chambre a permis une surveillance du franchissement de la zone en toute sécurité.

En second lieu, l'entreprise a mis en place une procédure d'évacuation des déblais pollués. La réalisation d'une plate-forme de tri étant impossible, une analyse systématique des matériaux extraits a été instaurée pendant le franchissement de la zone. Des tests immuno-enzymatiques réalisés par un technicien chimiste sur chaque benne de marinage ont permis une analyse rapide et fiable des matériaux sans interruption du creusement. Au total plus de 1400 t ont ainsi été dirigées vers les centres de traitement.

Un coffrage glissant pour le puits de sortie

La sortie du tunnelier a été réalisée par un puits de 5,00 m x 8,50 m de section. Profond de 20 m, il a été terrassé de façon traditionnelle, avec un soutènement en profilés métalliques et un blindage bois (photos 5 et 6).

Le revêtement en béton armé de l'ouvrage a été exécuté avec un coffrage glissant. L'opération de glissement a été effectuée en conservant le soutènement du puits et notamment la ligne axiale des butons. Le coffrage, composé de deux caissons implantés de part et d'autre du profilé central, comportait un jeu de tiroirs permettant la progression de l'outil au droit de la file d'obstacles (figure 3). Cette utilisation inhabituelle d'un coffrage glissant a permis une réduction importante du délai d'exé-

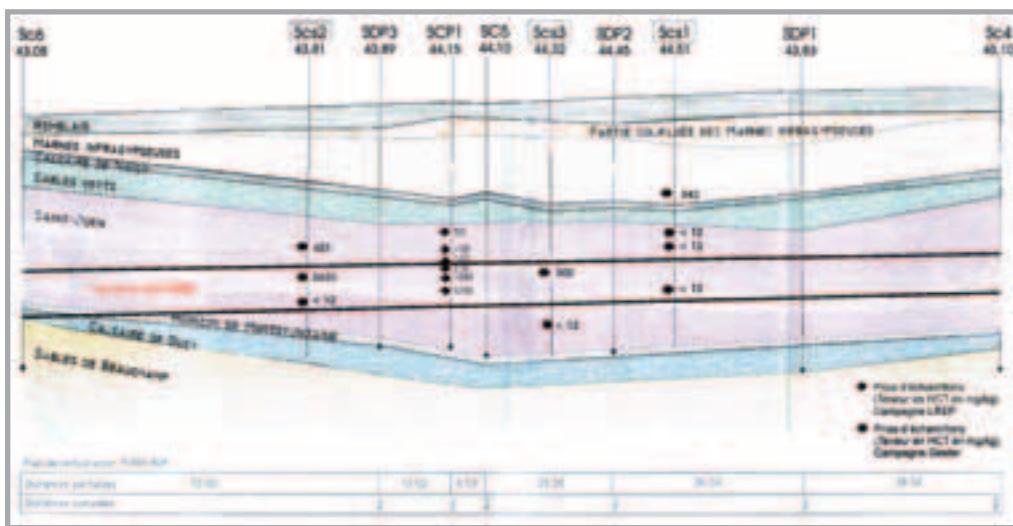


Figure 2
Profil en long de la zone polluée
Longitudinal profile of polluted zone

Le franchissement d'une zone polluée

Dans le cadre de l'étude géotechnique concernant le collecteur Réchossière, un écoulement d'hydrocarbures en provenance de la surface et migrant vers la nappe, a été mis en évidence. Cette pollution a pour origine un ancien site industriel dont l'activité nécessitait le stockage de ce type de produits. Le battement du niveau piézométrique de la nappe a étendu la contamination aux couches profondes du sous-sol. Une opération de pompage de la phase surnageante a été réalisée préalablement à l'attribution du chantier.

Des dispositions spécifiques ont été mises en œuvre pour gérer le franchissement de cette zone de terrain pollué.

Dans un premier temps, une campagne de sondages, suivie d'analyses en laboratoire, a été effectuée par l'entreprise. Les sondages carottés, d'une profondeur de 20 m, ont permis de prendre des échantillons intacts. Les prélèvements ont fait l'objet de recherche des paramètres hydrocarbures totaux et organiques halogénés volatils. Parallèlement, les analyses par chromatographie de la phase surnageante ont mis en évidence une coupe



Photo 5
Le puits de sortie
The outlet shaft



Photo 6
Le puits
de sortie
The outlet shaft

ABSTRACT

Pantin-La-Briche sewer main. First section at Aubervilliers (93)

Ch. Boissenot

For the construction of the first section of the Pantin-La-Briche sewer main, the company Montcocol TP was in control of operations for the completion of the first section at Aubervilliers. Reduced installations and compact equipment allowed the setup of a tunnel boring machine site in the middle of a dense urban environment. The crossing of a hydrocarbon-polluted zone was made possible after an in-depth analysis of risks related to works in toxic atmospheres. The article describes the project and the techniques used during the works.

RESUMEN ESPAÑOL

Colector de descarga de Pantin-La-Briche. Un primer tramo en Aubervilliers (Seine-Saint-Denis-F)

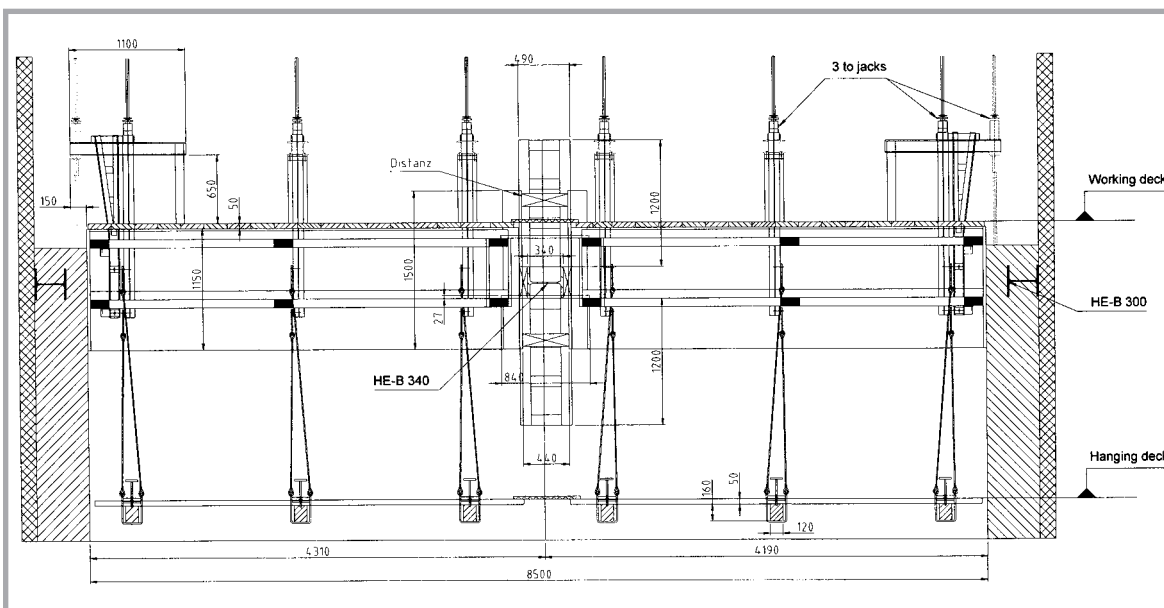
Ch. Boissenot

Actuando en el marco de la construcción de la primera etapa del colector de descarga de Pantin-La-Briche, la empresa constructora Montcocol TP, ha pilotado la ejecución de un primer tramo en Aubervilliers. Mediante instalaciones de tamaño reducido y un equipo compacto se ha implantado en las obras un tunelero en pleno centro de un entorno urbano denso. El franqueo de una zona contaminada por los hidrocarburos se ha llevado a cabo tras un análisis detallado de los riesgos derivados de las obras en atmósfera contaminada. En el presente artículo se describen las obras y las técnicas puestas en aplicación con motivo de su ejecución.

cution du puits. Les conditions de sécurité du personnel sont également améliorées en regard des procédés traditionnels puisque les ouvriers travaillent en permanence et pendant toute la durée des opérations sur une plate-forme qui couvre toute la surface du puits.

Le chantier du collecteur Réchossière termine actuellement la phase de démontage des installations et des ouvrages provisoires utilisés pendant le creusement. L'achèvement total des travaux de la première tranche du déversoir de Pantin-La-Briche est prévu en septembre 2002.

Figure 3
Plan de principe du coffrage glissant
Schematic diagram of slipform shuttering



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

S.I.A.A.P. (Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne)

Maitre d'œuvre

D.E.A. (Direction de l'Eau et de l'Assainissement) du Conseil général de la Seine-Saint-Denis

Entreprise

Groupement d'entreprises Cocinelle - Montcocol TP - l'Union Travaux - Sefi

Le viaduc de Verrières

La construction du viaduc de Verrières s'inscrit dans le cadre de la réalisation de l'autoroute A75 (Clermont-Ferrand/Béziers). Il est avec le viaduc de Millau et le viaduc de Garrigue, l'un des trois ouvrages non courants du contournement de Millau.

Il s'agit d'un pont mixte acier-béton de 720 m de longueur comportant six travées : 96 - 136 - 144 - 136 - 128 - 80 m (du nord vers le sud).

Le tablier présente une largeur de 23,5 m portant cinq voies de circulation. Il s'appuie sur des piles de grande hauteur (environ 140 m pour les deux plus importantes). Il s'inscrit dans une courbe de 1800 m de rayon, le profil en long étant en pente constante ascendante de 1 % du nord vers le sud.

Le lancement d'une charpente métallique sur une portée courbe de 144 m à 140 m du sol constitue une référence de niveau mondial. Les piles de 140 m sont parmi les plus hautes d'Europe.

"LE PLANNING"

- Janvier 1999 à octobre : fondations des piles (puits de gros diamètre)
- Mars 1999 à octobre 2000 : semelles et élévations des cinq piles (deux outils coffrants)
- Août 1999 à janvier 2001 : montage de la charpente métallique sur le site et lancement sur les appuis
- Février 2001 à septembre 2001 : pose des dalles préfabriquées, coulage puis précontrainte de la dalle centrale et des clavages
- Octobre 2001 à janvier 2002 : équipement de l'ouvrage

Marché

- Ordre de service du début des travaux : 20 août 1998
- Durée globale d'exécution : 40 mois
- Fin des travaux : janvier 2002

Le viaduc de Verrières, malgré ses dimensions importantes, est un ouvrage de conception classique. Toutefois, des points particuliers ont fait l'objet d'études particulièrement développées :

- ◆ influence du vent turbulent dans les phases d'exécution notamment :
 - dimensionnement des piles et leur fondation,
 - lancement de la charpente métallique, ainsi qu'en service ;
- ◆ dimensionnement de la charpente métallique dans les différentes phases de lancement pour tenir compte des effets de la courbure du tablier sur une console pouvant atteindre 144 m (travée principale).

■ PLANNING SOMMAIRE DE RÉALISATION

Le marché comprend une période de préparation de trois mois pendant laquelle les installations du chantier ont été réalisées, ainsi que les premiers terrassements généraux et la mise en place des centrales à béton. On retrouve ensuite l'enchaînement classique des tâches pour la réalisation d'un tel ouvrage (cf. encadré "Le planning").

■ DESCRIPTION SOMMAIRE DE RÉALISATION

Les fondations

Culées

Les deux culées sont du type enterré, elles sont fondées sur des semelles superficielles. La culée

CO comporte un mur de soutènement semi-circulaire facilitant son remblaiement en bordure du versant nord très abrupt.

Piles

Les fondations d'une pile sont composées de deux puits de gros diamètre et d'une semelle de liaison. Les semelles des deux grandes piles sont formées de deux parties (semelle quasi rectangulaire de 2 m de haut + base pleine du fût de pile de 3 m de haut).

Dimensions des puits

Diamètre de 5,50 m (P5) à 7 m (P2 et P3).
Profondeur de 10 m (P5) à 18 m (P3).

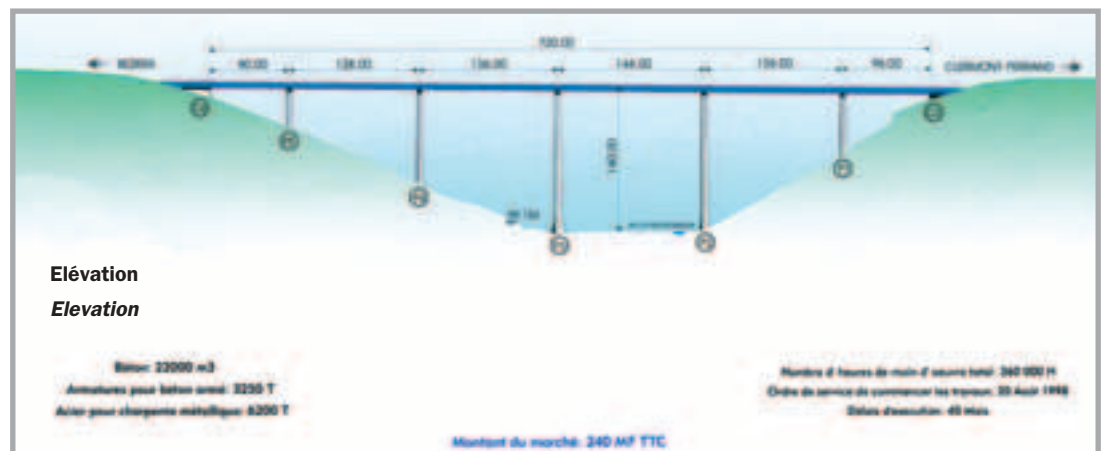
Les piles

Les piles présentent une hauteur comprise entre 41 m (P5) et 141 m (P3). Elles sont réalisées par levées de 4 m. L'épaisseur des piles varie de 50 cm à la base des plus grandes à 40 cm en tête.

Les dimensions des piles sont sensiblement constantes suivant le sens longitudinal de l'ouvrage et variables selon le sens transversal :

- ◆ pour les piles P1, P4, P5, le fruit transversal des piles est constant (3 %). Il en est de même pour les parties supérieures des piles P2 et P3. Les chevêtres de tête de pile ont une largeur de 9 m dans cette direction ;
- ◆ pour les deux grandes piles (P2 et P3), le fruit diminue paraboliquement depuis 12 % à la base (largeur 21 m environ) pour atteindre la valeur de 3 % à 46 m de hauteur.

Les piles sont raidies par des paliers en béton espacés de 24 m. Elles sont équipées d'un escalier intérieur assurant l'accès au tablier depuis la base.



(Aveyron)

Georges Gillet
CHEF D'ARRONDISSEMENT
AIOA A75 (Arrondissement interdépartemental
Ouvrages d'art - A75)

Bernard Bouvy
DIRECTEUR TECHNIQUE
AIOA A75 (Arrondissement interdépartemental
Ouvrages d'art - A75)

Robert Tirat
INGÉNIEUR TRAVAUX
AIOA A75 (Arrondissement interdépartemental
Ouvrages d'art - A75)

Vincent Preyssas
DIRECTEUR DE TRAVAUX
Groupement Spie Batignolles TPCI - Razel -
Sogéa - Dodin

Mike Proost
DIRECTEUR DE TRAVAUX
Entreprise Victor Buyck Steel Construction



Vue depuis la RN9.
Photomontage

View from highway RN9.
Photomontage

Les chevêtres d'une hauteur de 4 m sont pleins. Ils comportent un évidement permettant l'accès aux appareils d'appui depuis l'escalier intérieur. La liaison appui-tablier est fixe pour les trois plus grandes piles P2 - P3 - P4, les dilatations étant reprises par la souplesse des piles. Les piles P1 et P5, plus courtes, sont quant à elles équipées d'appareils d'appui glissants, de même que les deux culées.

Le tablier

Le tablier est constitué d'une charpente métallique associée à une dalle en béton armé participante.

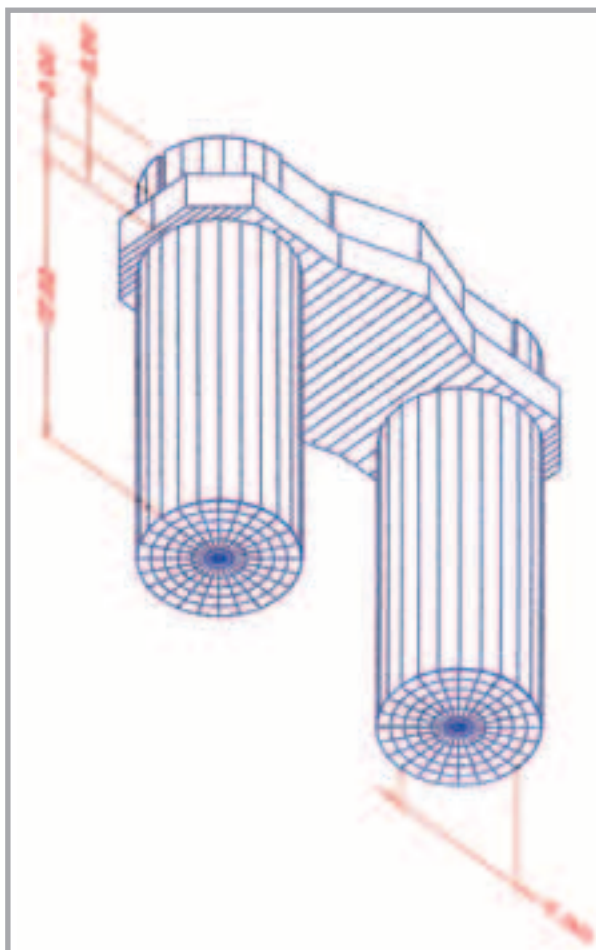
La charpente métallique

Elle est constituée d'un caisson rectangulaire (7,00 m de largeur pour 4,50 m de hauteur). Des structures latérales (consolés formant pièces de pont, longerons et bracons tubulaires) supportent les parties en encorbellement de la dalle de couverture.

Les aciers utilisés sont de type normalisés (S355) et thermomécaniques (S460). Les épaisseurs des tôles principales (âmes et semelles) sont comprises entre 18 et 67 mm.

La dalle en béton armé

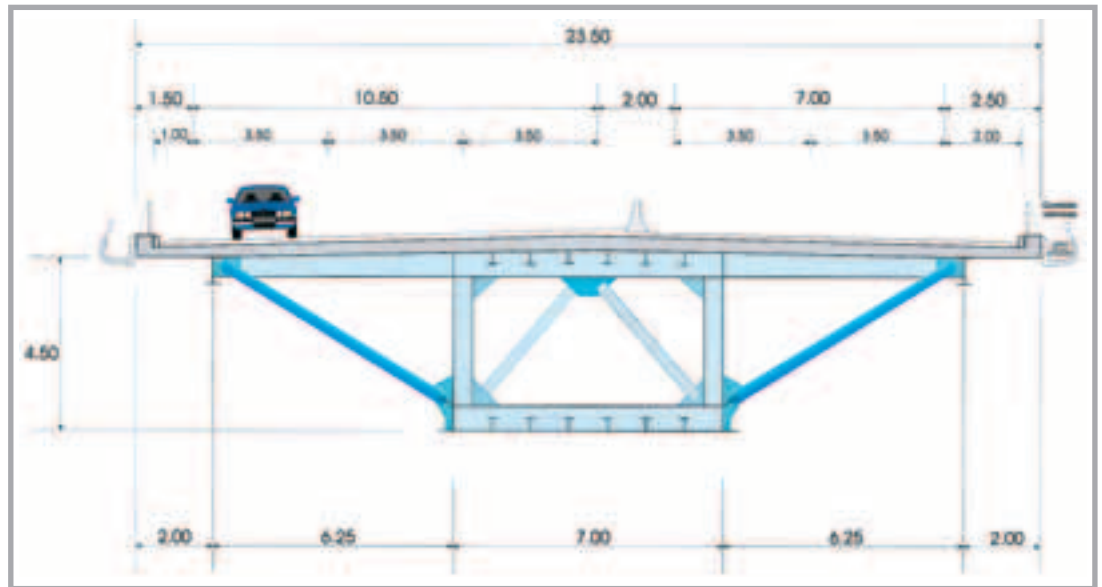
Elle est en partie préfabriquée et en partie coulée en place. Elle a une épaisseur moyenne de 23 cm.



Vue perspective
des fondations
de la pile P2

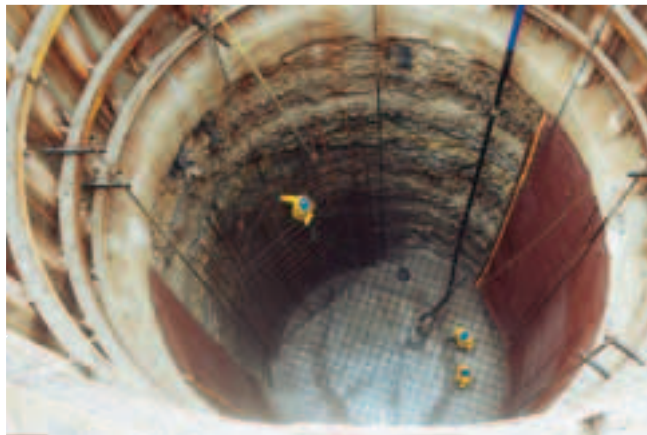
Perspective view
of pier P2 foundations

Coupe transversale schématique
Schematic cross section



Puits de la pile P3 en fin d'excavation (profondeur : 18 m, diamètre : 7 m)

Shaft of pier P3 after excavation (depth : 18 m; diameter : 7 m)



Pile P3 à mi-construction. L'outil coffrant extérieur est dans sa configuration "auto-grimpante". A noter les bracons d'attache de la grue sur la pile

Pier P3 in mid-construction phase. The outer shuttering system is in its "self-climbing" configuration. Note the crane attachment braces on the pier



Les parties préfabriquées sont des dalles de 4 m x 8 m qui constituent les encorbellements, avec un débord de 1,50 par rapport aux longerons. Elles permettent de s'affranchir d'un outil coffrant rendu complexe par la poutraison.

Chaque dalle recouvre l'espace entre deux pièces de pont. Elle comporte des réservations pour la connexion sur les longerons.

Les dalles préfabriquées sont rendues participantes par le coulage en place du béton sur le caisson, par le clavage au droit des pièces de pont et les réservations sur les longerons. Une précontrainte transversale (câble 4T15S) dans l'axe des pièces de pont.

Les équipements

L'étanchéité du tablier

Elle sera assurée par des feuilles préfabriquées protégées par une couche d'asphalte gravillonnée. Cette étanchéité sera recouverte d'une couche de roulement provisoire en béton bitumineux de 4 cm, avant achèvement de la chaussée de l'autoroute et mise en place des joints de chaussée.

Le viaduc de Verrières sera équipé de corniches caniveaux en béton récupérant les eaux de ruissellement du tablier sur toute sa longueur et assurant leur évacuation au droit de la culée C0.

Les équipements extérieurs (corniches et contrecorniches) seront protégés par un film mince d'étanchéité adhérent au support.

L'ouvrage comportera également des barrières normales type Tetra S16 et une DBA au niveau du terre-plein central.

■ MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Fondations semi-profondes

Les puits de gros diamètre ont été forés à l'explosif (prédécoupage général puis volées d'abatage de 2 à 3 m).

Les puits de P2 ont nécessité un soutènement léger en tête (micropieux + béton projeté).

Les puits de P3 ont été protégés des arrivées d'eau par un soutènement de palplanches sur 5 m de hauteur et par des puisards équipés de pompes disposées autour des puits de fondation (débit maximal de l'ordre de 150 m³/heure).

Les puits des autres piles (P1, P4, P5) n'ont pas nécessité de soutènement particulier.

Les piles

Pour la réalisation des piles, le groupement génie civil a retenu un outil coffrant auto-grimpant pour l'extérieur. Cet outil permet, après décoffrage de la levée bétonnée, l'élévation générale du coffrage de 4 m sans l'aide de la grue, au moyen d'un système de dix vérins. Ce choix permet d'obtenir un cycle d'exécution d'une levée en 2 à 3 jours.

Deux outils coffrants ont été réalisés pour les piles. L'un des deux est conçu spécialement pour réaliser les parties basses des piles P2 et P3, qui présentent des variations dimensionnelles plus complexes à régler. Dans ces zones, certaines parties du coffrage extérieur n'étaient pas auto-grimpantes (pointes de diamant).

Le coffrage intérieur est du type grimpant classique, monté sur une plate-forme à rochets.

Compte tenu des variations dimensionnelles du coffrage des piles, l'entreprise a retenu des peaux coffrantes en bois, les panneaux pouvant être ainsi facilement découpés sur le chantier.

Cette difficulté, associée à la complexité du montage de l'outil coffrant au démarrage d'une pile, ainsi qu'au volume important des bétonnages des premières levées, a conduit l'entreprise à travailler en deux postes pour les phases correspondantes.

Charpente métallique

La charpente métallique comporte 39 tronçons, acheminés sur le chantier par la route par demi-caissons de 16 à 24 m pesant entre 60 et 100 t. Le découpage longitudinal des tronçons en demi-caissons est nécessaire vis-à-vis des gabarits routiers. Les 78 convois exceptionnels ainsi constitués acheminent le tablier sur 1 000 km (5 jours de route au minimum). L'âme des demi-caissons étant posée sur la remorque, le retournement en position verticale s'effectue au moyen d'un portique d'une capacité de levage de 64 t (tout le poids du demi-caisson n'est pas repris par le portique). Les



Outil coffrant des piles réalisé par la société Doka (en position à la base de la pile P2)

Pier shuttering tool designed by the company Doka (in position at base of pier P2)

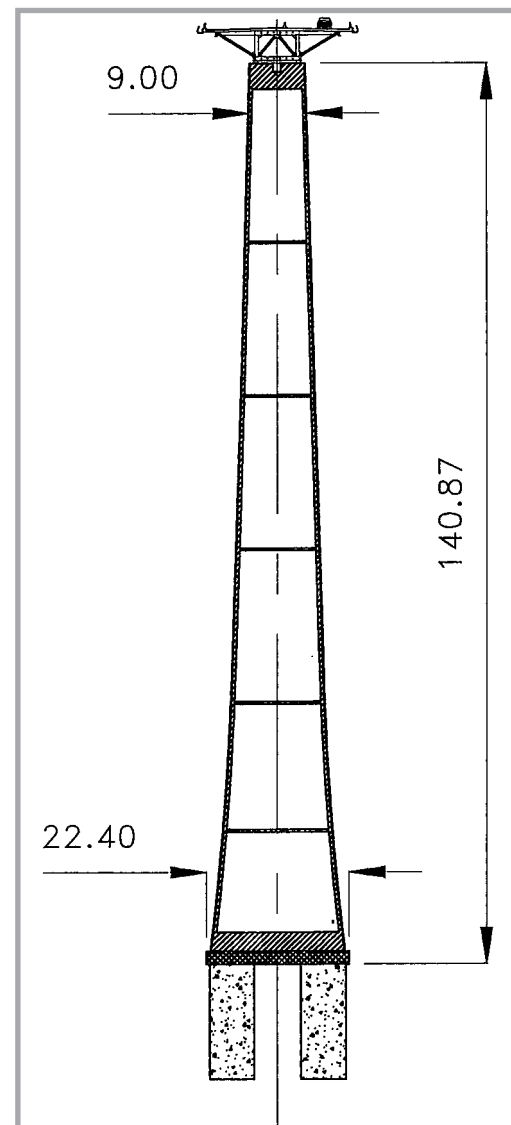


Bétonnage des dalles préfabriquées du tablier sur le chantier (côté nord)

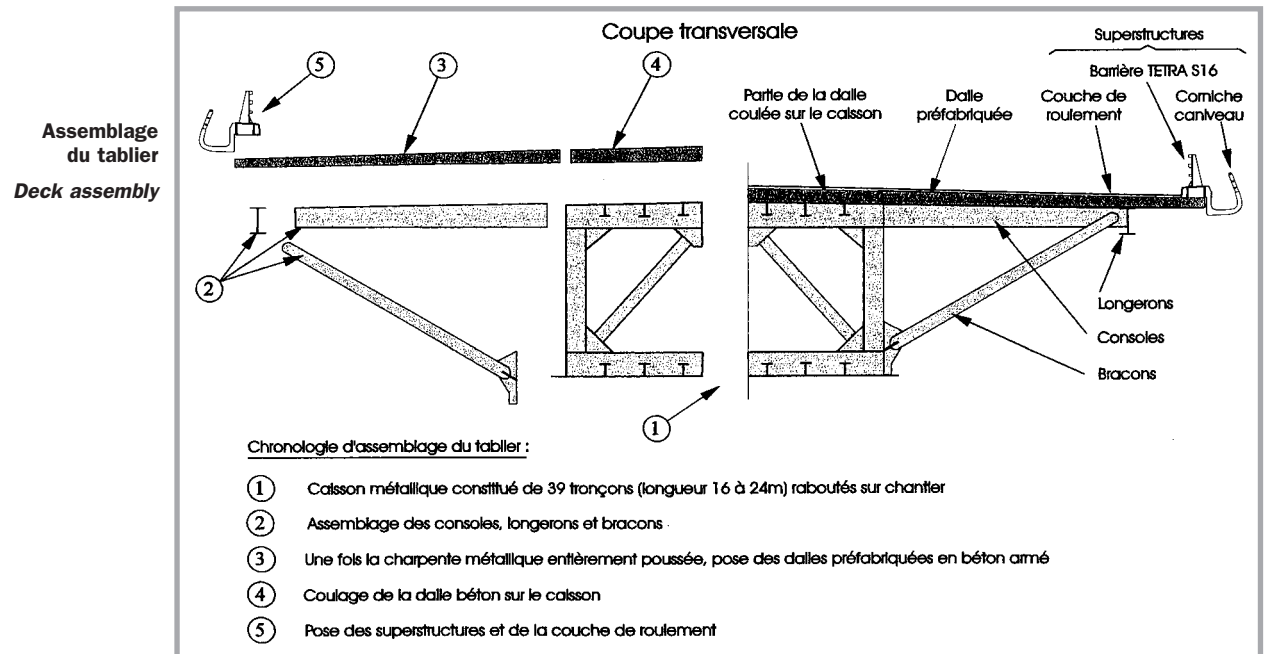
Pouring concrete for deck slabs pre-cast on site (north side)

Assemblage des éléments latéraux de la charpente : consoles, longerons, bracons

Assembly of framework side elements : brackets, rails and braces



Coupe d'une pile
Section of a pier



Vue générale de l'aire d'assemblage et de lancement de la charpente métallique

General view of steel framework assembly and launching area



Portique de retournement des demi-caissons du tablier
Portal for handling of deck box-girder sections



► demi-caissons sont ensuite mis en position d'assemblage sur l'aire de lancement, réglés, soudés, pour reconstituer un tronçon puis équipés de leurs structures latérales (consoles, longerons, bracons).

Lancement du tablier

Le lancement du tablier s'effectue après rabotage des tronçons et application de la protection anticorrosion définitive.

Les opérations ont été réalisées en cinq phases, permettant d'amener la charpente métallique dans

des positions d'appui assurant sa stabilité vis-à-vis des effets de vent turbulent.

Un contrôle complet des opérations de lancement a été mis en place :

- ◆ vérification des déformations (la phase la plus délicate a été suivie par GPS) ;
- ◆ vérification des températures (incidence importante de gradient thermique dans un caisson) ;
- ◆ suivi des réactions d'appui sur les longrines et des "déplacements" au droit des appuis provisoires sur piles et culées ;
- ◆ contrôle de la tension dans les haubans provisoires.

Les installations de lancement

Celles-ci comportent l'aire de lancement qui est encaissée d'environ 5 m sous le niveau de la plateforme autoroutière définitive, afin de ne pas lancer l'ouvrage trop haut par rapport à son niveau final. Elle est équipée de deux longrines en béton (une sous chaque âme du caisson) recouvertes d'une tôle métallique.

Ces longrines assurent deux fonctions :

- ◆ appui des caissons en phase de montage ;
- ◆ blocage des vérins de poussage sur des plots se logeant dans des trous espacés de 75 cm (quatre vérins hydrauliques à double effet solidarisés au caisson par un bâti métallique).

Des appuis métalliques qui supportent la charpente métallique. Ils sont munis en face inférieure d'une tôle en acier inoxydable. En phase de lancement, ils reposent sur les longrines par l'intermédiaire de patins néoprène Téfalon® (frottement de l'ordre de 5 %). Les piles et culées sont équipées de chaises articulées dénommées "balançoires" qui permettent d'absorber les rotations de la charpente en cours de lancement.

Les longueurs des balançoires sont adaptées, suivant la valeur des réactions d'appui (2 m, 2,6 m, 3,8 m). Un système de ressorts permet d'assurer une bonne répartition de la charge sur la longueur d'appui.



Mât de haubanage provisoire (27 m de haut), haubans en position détendue

Temporary staying mast (27 m high), with stay cables in untensioned position

Les dispositifs de glissement sont également du type néoprène Téflon® sur tôle d'acier inoxydable.

Avant-bec

L'avant-bec utilisé pour le lancement est une poutre-treillis de 60 m de long. Sa hauteur est de 9 m au niveau du tablier pour diminuer jusqu'à 4 m à l'about. Il est fabriqué suivant la courbe de lancement (en plan) et présente un intrados en forme de "ski" pour favoriser l'accostage.

Le poids de cette structure est de 180 t soit sensiblement un poids au mètre linéaire 3 fois plus faible que la charpente de l'ouvrage définitif.

Mât de haubanage provisoire

Un haubanage provisoire est mis en œuvre pour minimiser les déformations en phase de lancement. Il comporte :

- ◆ un pylône articulé en pied, en forme de V inversé, placé à environ 80 m à l'about du tablier;
- ◆ sa hauteur est de 27 m;
- ◆ deux câbles 31T15S ancrés sur le tablier au niveau des âmes du caisson.

La tension dans un hauban varie de 25-30 t (reprise du poids des torons en phase de repos), à plus de 300 t dans les phases de porte-à-faux maximal.

La dalle du tablier

Préfabrication

Les dalles constituant les encorbellements du tablier ont été préfabriquées sur le chantier (côté nord) au moyen de quatre moules (les dalles côté intérieur du rayon de l'ouvrage et les dalles côté extérieur ont des coffrages légèrement différents). Les coffrages étaient bâchés (et réchauffés à l'air chaud par temps froid) afin de permettre le décoffrage des dalles le lendemain de leur bétonnage, et de conserver ainsi une cadence de réalisation de quatre dalles par jour.

La préfabrication des 360 dalles s'est déroulée de, octobre 1999 à février 2000 (poids total des dalles : 6 800 t).



Vue de l'ouvrage après son lancement sur la pile P1 en décembre 1999. On note l'avant-bec de 60 m en porte-à-faux

View of structure after its launching over pier P1 in December 1999. Note the 60-m cantilevered pier nose

Pose des dalles

Une fois la charpente métallique en place, les dalles préfabriquées seront acheminées vers leur position définitive au moyen d'un chariot de transport roulant sur des rails soudés sur le caisson (vitesse maximale du chariot : 30 m par minute).

Une grue positionnée sur le caisson et spécifiquement prévu pour l'ouvrage viendra ensuite poser la dalle sur les pièces de pont.

Bétonnage de la partie centrale

Le bétonnage de la partie centrale du tablier commencera après que les premières dalles préfabriquées aient été posées sur une longueur de 200 m environ.

Les plots de bétonnage auront une longueur variable de 20 à 28 m.

L'ordre de bétonnage prévoit la réalisation des plots à mi-travée en premier, afin de moins solliciter en traction le béton au droit des piles.

Clavage

En dernier seront réalisés les clavages des dalles préfabriquées au droit des pièces de pont et des longerons. L'ordre de réalisation sera identique aux plots de la partie centrale.

Précontrainte

Après bétonnage des clavages, quatre câbles T15S monotorons gainés graissés seront mis en tension au droit de chaque pièce de pont afin d'améliorer la tenue du tablier.



Vue générale de l'ouvrage après le lancement sur la grande travée de 144 m

General view of structure after launching over the 144-m span

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Etat - Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement représenté par le directeur départemental de l'Équipement de l'Aveyron

Maitrise d'œuvre

Arrondissement interdépartemental des ouvrages d'art (AIOA)

Architecte

André Mascarelli

Études de conception

AIOA et SETRA (division des grands ouvrages d'art)

Entreprises

- Lot 1 (génie civil) : groupement Spie Batignolles TPCI - Razel - Dodin - Sogea
- Lot 2 (charpente métallique) : entreprise Victor Buyck Steel Construction

Principaux sous-traitants

- SAMT : pose d'armatures
- SATS : fondations profondes
- Sévigné - Connes : terrassements

Études d'exécution

- Razel T.M (appuis)
- SERF (CM et études au vent)
- Spie Batignolles (tablier béton)
- Michel Virlogeux (consultant)

ABSTRACT

The Verrières viaduct

G. Gillet, B. Bouvy, R. Tirat, V. Preyssas, M. Proost

The construction of the Verrières viaduct forms part of the A75 motorway project (Clermont-Ferrand/Béziers). With the Millau viaduct and the Garrigue viaduct, it is the third special facility of the Millau bypass.

It is a composite steel-concrete bridge structure 720 m long with six sections spanning respectively 96, 136, 144, 136, 128 and 80 m (from north to south).

The deck is 23.5 m wide with five carriageway lanes. It is supported by long piers (the two longest being about 140 m long). It falls within a curve of 1800 m radius, with a longitudinal profile having a constant ascending slope of 1 % from north to south.

The launching of a steel framework over a curved span of 144 m at a height of 140 m from the ground constitutes a major achievement world-wide. The 140-m piers are among the highest in Europe.

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto de Verrières

G. Gillet, B. Bouvy, R. Tirat, V. Preyssas y M. Proost

La construcción del viaducto de Verrières se sitúa en el marco de la construcción de la autopista A75 (Clermont-Ferrand/Beziens). Con el viaducto de Millau y el viaducto de Garrigue, se trata de una de las tres estructuras de ingeniería civil no corrientes de la variante de Millau.

Se trata de un puente mixto acero-hormigón de 720 m de longitud formado por seis tramos de 96 - 136 - 144 - 136 - 128 - 80 m (de norte a sur).

El tablero presenta una anchura de 23,5 m y tiene cinco carriles de tráfico. Este tablero toma apoyo sobre pilares de gran altura (unos 140 m para los dos más importantes). Este puente en esviaje toma una curva de 1800 m de radio y el perfil longitudinal se prolonga en pendiente constante ascendente de un 1 % desde el norte hacia el sur.

El lanzamiento de una estructura metálica en una luz en curva de 144 m situada a 140 m del suelo constituye

una referencia a nivel mundial. Los pilares de 140 m figuran entre aquellos de mayor altura en Europa.

Franchissement de la Seine

Un pont mixte entre Triel et Vernouillet

Deux ponts de 635 m de long en parallèle sont réalisés au-dessus de la Seine à Triel. Ouvrages bipoutres, ils reposent sur cinq piles et deux culées. Ce projet est significatif pour son environnement (loi sur l'eau), sa classe de béton niveau C pour alcali-réaction, et le dimensionnement des appuis à pot suivant les nouveaux textes européens.

La méthodologie est également particulière : le pont n'est pas poussé mais tiré depuis des ancrages dans les semelles et les équipages mobiles sont variables dans les deux plans afin de respecter l'élargissement de l'ouvrage.

DESCRIPTION

L'ouvrage en construction au-dessus de la Seine entre Triel et Vernouillet est un pont mixte constitué de deux tabliers de 635 m de long.

Il s'agit d'un pont routier, sur lequel il est prévu deux voies de circulation sur chaque ouvrage. Il reliera la RD1 à la RD154 et soulagera le trafic sur le pont actuel situé en aval à Triel.

C'est un ouvrage bipoutre, muni de poutres métalliques de 4,50 m de haut et d'une dalle en béton de 30 cm d'épaisseur.

L'ensemble porte sur six travées : 73 m, 105 m, 124 m x 3 et 85 m.

Chaque tablier mesure 11,40 m de large minimum avec un élargissement du côté de Vernouillet qui porte la largeur de l'ouvrage nord à 14,91 m et l'ouvrage sud à 16,94 m. Cette partie variable court sur les deux dernières travées de 73 et 105 m.

Enfin, pour respecter le tracé de la route, cette même partie située entre C0 et P2, est courbe d'un rayon de l'ordre de 300 m.

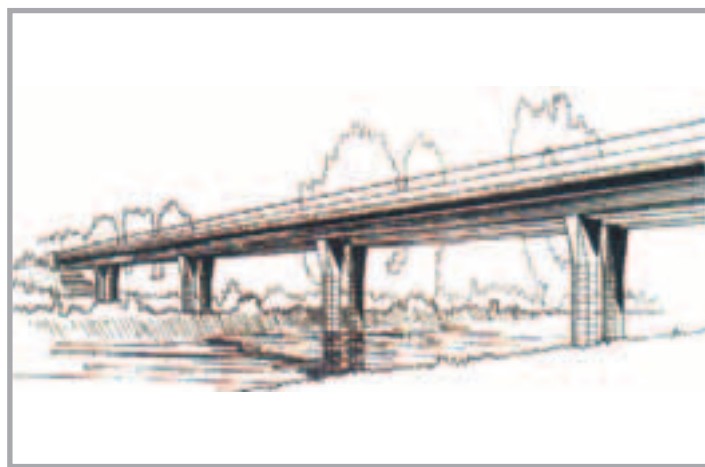
Dans la partie constante, les poutres métalliques sont munies d'entretoise alors que dans la partie variable il est prévu des pièces de pont.

Ces deux tabliers reposent sur cinq piles et deux culées. Les fûts des piles sont de forme octogonaux, dont la section s'inscrit dans un rectangle de 5 m x 3,50 m, ils sont surmontés d'un chevêtre trapézoïdal.

INSTALLATION

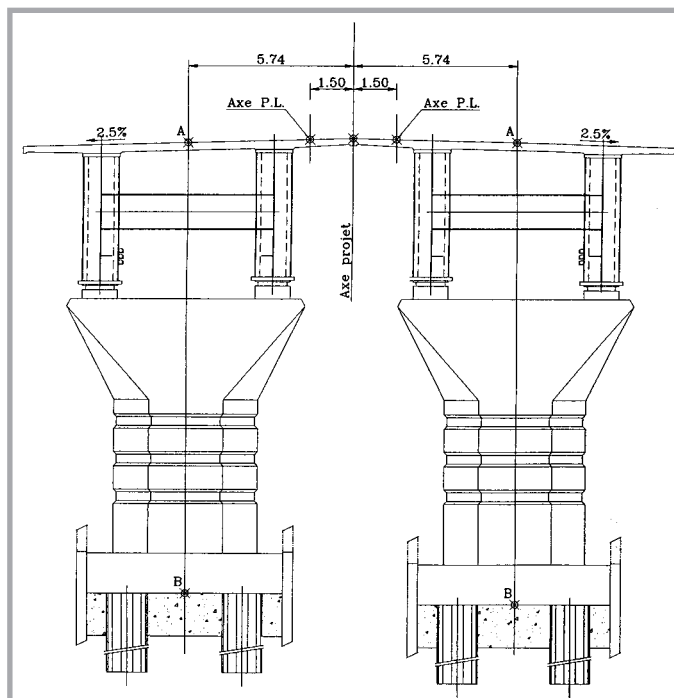
Quatre des cinq piles sont situées en bordure de Seine. En effet, les ponts traversent la Seine au droit d'une île (l'île d'Hermière) et deux piles, P3 et P4, y sont implantées.

Afin de pouvoir les construire, le projet a prévu la



Vue schématique de l'ouvrage

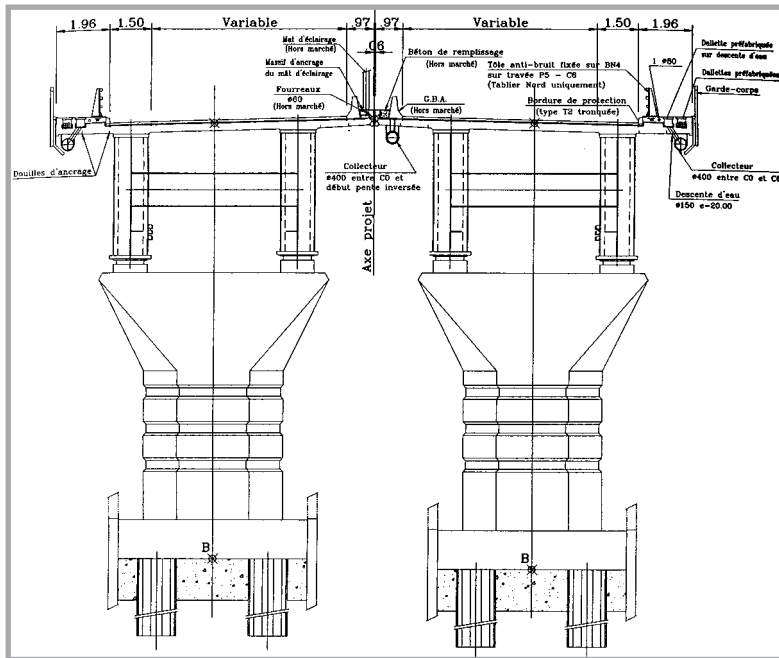
Schematic view of structure



Coupe courante

Intermediate cross section

**Superstructures.
Coupe courante**
**Superstructures.
Intermediate
cross section**



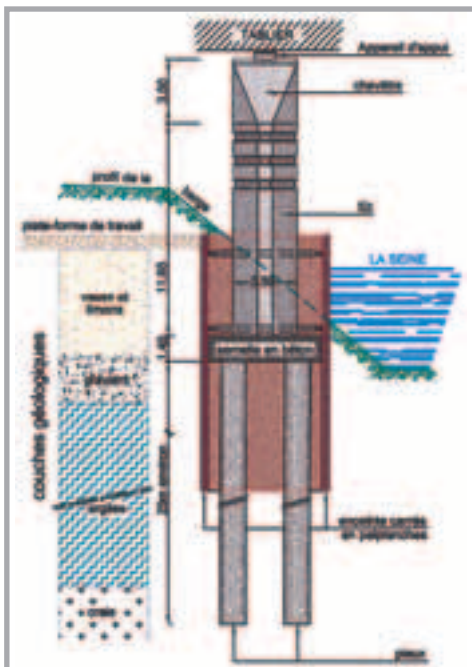
**Construction
de l'estacade
mobile**
**Construction
of mobile platform**



**Estacade mobile
en service**
**Mobile platform
in service**



Coupe de la pile P2
Section of pier P2



construction d'une estacade provisoire de 150 m et de 5 m de large. Les travées doivent être au minimum de 24 m afin de ne pas faire obstacle aux embâcles qui dérivent sur la Seine. Cette estacade est constituée de pieux métalliques de diamètre 800 mm et de cinq HEB 1000 entretoisés tous les 3,70 m par des tubes de diamètre 500, tirantés. Elle supporte le passage de tombereau type A25 et d'une machine à forer des pieux d'un poids de 75 t.

LOI SUR L'EAU

Les travaux de la construction des deux viaducs s'accompagnent de travaux de terrassement im-

portants. En effet, une partie de la liaison routière s'effectue sur remblais. Ces remblais atteignent des hauteurs importantes de l'ordre de 12 m. L'ensemble de l'ouvrage se situe en zone inondable. Les crues de la Seine sont impressionnantes dans cette zone, puisque le niveau peut monter de plus de 4 m.

Il a été imposé au Conseil général des Yvelines, dans le cadre de la loi sur l'eau, de compenser le volume de remblais nécessaires à la réalisation de la route avant les viaducs par un déblais équivalent pris sur l'île d'Hernière.

Un volume de 85 000 m³ a donc été évacué de l'île. Ces travaux ont été réalisés en empruntant l'estacade provisoire.

Ces déblais ont été bien évidemment utilisés en remblais en différents sites du projet.

APPUIS

Piles : présentation

Elles sont constituées de semelles de 6,70 x 6,70, de fûts de hauteur variable de 6 m à 12 m et de chevêtres de forme évasée de hauteur constante 3,50 m.

Elles sont fondées sur quatre pieux, chacune de 1,40 m de diamètre. Les pieux mesurent en moyenne 25 m de profondeur.

Ils ont été tubés sur 14 m lors de la réalisation afin de tenir les premières couches de remblais alluvionnaires.

Ces piles sont réalisées à l'abri de batardeaux, tous exécutés en bordure de seine.

Batardeaux : le pari

La Seine présente dans cette zone des crues spectaculaires et annuelles. La montée des eaux est de l'ordre de 4 m ! Cette période de crue dure de mi-décembre à fin février.

Les batardeaux devaient être réalisés jusqu'à la cote 20,5 NGF, cote de crue normale. L'entreprise a pris le pari de terminer tous les appuis avant la mi-décembre et a limité les batardeaux à la cote 19 NGF, soit 1,5 m au-dessus de la retenue normale.

Les bétons immergés prévus sous les semelles ont été également supprimés en calculant les débits prévisibles de venus d'eau.

En contrepartie, un lit de cailloux 60/80 a été réalisé sous le béton de propreté et une pompe a été installée dans les alvéoles des palplanches au niveau du dessous du lit de cailloux.

Piles : le coffrage

Elles sont réalisées en deux levées : fût et chevêtre. Les coffrages utilisés sont des coffrages Sa-

teco TP dans la grande longueur et des coffrages métalliques fabriqués par la société Chantiers Modernes pour les coffrages latéraux. Les fûts sont creux. Le coffrage intérieur est en bois.

Une note architecturale est donnée aux fûts de piles par des nervures horizontales de 30 cm de haut et de 10 cm de profondeur. Elles sont au nombre de trois et sont situées à une cote fixe par rapport au chevêtre. La cote par rapport à la semelle est donc variable pour chacune des dix piles. Afin de ne pas avoir à rajouter ou enlever à chaque fût d'éventuelle sous-hausse, l'entreprise a fabriqué un négatif des trois nervures en tôle qui est boulonné sur les banches et donc déplacé pour chaque bétonnage.

Les chevêtres sont coulés à partir de passerelles situées au niveau de l'arrêt de bétonnage fût/chevêtre. Ces passerelles ceinturent la pile sur le biais inférieur de la nervure la plus haute. Ainsi, il n'est utilisé aucun cône pour les soutenir et des réservations, toujours gênantes lorsqu'il s'agit de les masquer, ont été supprimées.

■ APPUIS À POT

L'ensemble des deux tabliers repose sur des appareils d'appui à pot de caoutchouc disposés de manière classique (fonction d'appui fixe sur la pile centrale).

Les efforts et déplacements ont été calculés selon les méthodes préconisées dans le nouveau guide du Setra (réf. F0033). Les appareils d'appui sont dimensionnés selon le projet de norme EN 1337 (parties 1,2 et 5). Ainsi, l'effort horizontal longitudinal sur l'appui fixe est sécurisé par la prise en compte d'inégalité de frottement sur les appareils glissants, inégalité liée à leur positionnement et à l'usure.

L'appui fixe étant très rigide, le parti a été pris de mettre un seul appareil d'appui unidirectionnel par pile, l'appareil de l'autre poutre étant multidirectionnel.

Cette prise en compte des nouveaux textes a entraîné les modifications suivantes :

- ◆ un léger épaissement du piston ;
 - ◆ l'épaissement des plaques de glissement ;
 - ◆ la mise au point d'une encoche dans le piston permettant, lors des inspections, de vérifier l'usure du PTFE sans démontage du joint de protection.
- L'ossature métallique étant posée sur les appareils d'appui définitifs avant bétonnage du hourdis, les rotations supplémentaires correspondantes sont prises en compte et afin d'assurer une bonne diffusion au contact entre le piston et la virole des appareils quel que soit l'angle de rotation, les bords du piston sont usinés en forme de sphère. Enfin, un soin particulier a été apporté au dimensionnement des longueurs des plaques de glisse-



Vue générale des appuis
General view of bearings



Coffrage de pile
Pier shuttering



Négatif en tôle pour les nervures boulonnées sur les banches
Negative section in sheet steel for ribbing bolted on the shuttering



Vue générale des deux coffrages en place
General view of shuttering in place

Passerelle pour chevêtre
Walkway for pier head

**Coffrage ferrillage
d'un chevêtre**
*Reinforced shuttering
for a pier head*



ment par la prise en compte de tous les mouvements et notamment le déplacement des culées lié aux problèmes géotechniques rencontrés.

■ BÉTON

Une des exigences du projet est la classification du béton au regard de l'alcali-réaction. Compte tenu de la dimension de l'ouvrage, le niveau requis est C. Les granulats envisagés n'étant pas qualifiés vis-à-vis de l'alcali-réaction, il a été nécessaire d'effectuer l'ensemble des essais de qualification afin de garantir une formule béton répondant à ces exigences.

D'après les recommandations du LCPC, la formule doit répondre à deux conditions.

La première concernant la caractérisation du mélange granulaire comme PRP (potentiellement réactif à effet de pessimum) est vérifiée à l'aide d'un essai dit de Microbar (P18 588).

La deuxième concerne la teneur en silex qui doit être supérieure à 60 %. La formule retenue ne vérifiant pas ce point, des essais sont réalisés sur le mélange granulaire; il s'agit de vérifier l'expansion d'éprouvettes confectionnées avec le mélange granulaire. Cet essai présente l'inconvénient de durer 8 mois. Afin de ne pas retarder le chantier, en accord avec le LRPC de Lille, il a été décidé d'effectuer l'essai dit de performance.

Il s'agit de confectionner des éprouvettes, cette fois-ci, à partir de la formule de béton et de formules dérivées en augmentant la teneur en alcalin. On observe les gonflements des éprouvettes tous les mois. Il s'agit de trouver la teneur en alcalin à partir de laquelle la formule devient expansive. Cette teneur en alcalin ou seuil limite doit être supérieure à la teneur de la formule étudiée. On estime que pour considérer que la formule est satisfaisante (niveau C), la teneur limite doit être supérieure de 1,5 kg par rapport à la teneur proposée.

Ces essais sont validés au bout de trois mois pour des granulats alluvionnaires. Il faut cependant attendre les résultats des essais à 8 mois pour valider définitivement la formule et il est nécessaire pour un chantier de longue durée de vérifier par des analyses si les caractéristiques des constituants

de la formule, granulats et ciment, n'évoluent pas au cours du temps.

■ MISE EN PLACE DE LA STRUCTURE MÉTALLIQUE

Elle est réalisée par l'entreprise Baudin Chateaufort. Deux techniques sont utilisées : le lancement et la pose à la grue. La partie droite est lancée, soit 460 m sur quatre travées et la partie courbe et variable en largeur est posée à la grue.

Pose à la grue

Elle est réalisée par deux grues de 100 t; les éléments sont soudés entre eux sur des étalements provisoires puisque cette zone est située sur terre.

Lancement

Les poutres sont acheminées par camion, elles mesurent 27 m de long pour 4,5 m de haut. Elles pèsent environ 88 t!

Les semelles inférieure et supérieure mesurent respectivement 1,50 m et 1,30 m. Il est à noter que l'épaisseur de la semelle varie entre 40 mm et 140 mm. Les entretoises sont des HEB 500.

Ces poutres sont assemblées sur place par des soudures semi-automatiques du type Innershield. Il est prévu cinq phases de lancement. La première concerne l'avant-bec dont la longueur est de 63,50 m. La travée maximum est de 124 m, ce qui représente, pour Baudin Chateaufort en charge de ces travaux, un record. En effet pour de telle travée, il est plus habituel de réaliser deux lancements depuis chaque culée et de claver la partie centrale. Les chaises à galets situées sur les chevêtres des piles sont au nombre de huit; elles sont articulées et de capacité portante 450 t. La structure n'est pas poussée mais tirée. En effet, les points fixes sont ancrés dans les semelles des piles P5, il s'agit de "U" de 2,90 m de long de diamètre 56 mm. Les câbles de traction sont de diamètre 50 mm alors que la système de moufle fixé sur l'arrière bec sont des câbles 30 mm de capacité 17 t.

Il est à noter que deux niveaux de contreventements provisoires sont nécessaires pour le lancement. Le niveau inférieur est retiré avant bétonnage des hourdis.

Il faut deux jours pour réaliser un lancement de l'ordre de 90 m.

Les tronçons les plus lourds sont situés au droit de P2 et comme le lancement est réalisé de C6 vers P2, ce sont les premiers tronçons à mettre en place. Leur poids est tel qu'ils imposent des moments trop importants sur l'appui P3. Ces derniers tronçons (30 m) sont donc posés à la grue. Cela implique que l'ouvrage est lancé au-delà de sa po-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Département des Yvelines

Maître d'œuvre

Département des Yvelines : Direction des routes et des transports

Assistance technique maître d'œuvre

DRE

Bureau de contrôle technique

Ingérop

Architecte

M. Mikaelian

Coordonnateur sécurité

Veritas

Groupement d'entreprises

- Bouygues TP (mandataire)
- Chantiers Modernes
- Campenon Bernard
- Spie Fondations (pieux)
- Baudin Chateaufort (structure métallique)

Principaux sous-traitants

- EMCA (armature)
- FIP (appuis à pot)
- BRN Lefoll (béton)
- SECOA (études techniques)
- Guintoli (terrassements)

Montant du marché : 143000000 F HT

sition finale, et, après la pose des trente derniers mètres de la travée P3-P2 entre P2 et P1, de procéder à un lancement en "arrière" afin d'amener l'ouvrage à sa position finale.

■ BÉTONNAGE DES HOURDIS

Ils sont réalisés à l'aide de deux équipages mobiles. Le béton utilisé est un B40 avec un ciment type CPA. L'entreprise a prévu de bétonner des plots de 12 m moyen. Le pianotage a été défini dès le début des études puisqu'il intervient dans le dimensionnement de la structure métallique. Ce pianotage consiste à laisser les plots situés au droit des appuis. Dans ce cas l'équivalent de deux plots a été laissé de chaque côté de l'appui, soit 60 m. Les autres plots d'une même travée sont réalisés chacun leur tour. Les déplacements d'équipage mobile sont ainsi limités au minimum.

Une des contraintes "qualité" forte pour ce type d'ouvrage est la fissuration des dalles.

Afin de nous affranchir de ce risque, les mesures suivantes ont été prises :

- ◆ un pianotage adapté (cf. supra);
- ◆ l'accès est interdit sur les plots déjà bétonnés : il n'y a pas de surcharge du type grue ou autre matériel lourd sur des plots dont le béton n'a pas fini sa prise.

La formule de béton présente des caractéristiques rassurantes comme un E/C très proche de 0,4, une granulométrie bien répartie du sable au 5/20 et enfin un ciment CPA dont la caractéristique de retrait est de 640 µm/m à 28 jours.

Le décoffrage est prévu au bout de 36 heures minimum. La résistance du béton est alors de 16 MPa minimum.

Enfin, la cure de la dalle est réalisée à l'eau de façon régulière et intervient dès raidissement des surfaces talochées pendant au moins 15 heures.

■ ÉQUIPAGE MOBILE

Caractéristiques géométriques

Chaque tablier mesure 635 m de long. La largeur courante est de 11,50 m mais l'ouvrage s'élargit en s'incurvant vers le sud de P2 à C0 jusqu'à un maximum de 14,44 m au droit de C0 nord et 16,93 m au droit de C0 sud.

Découpage en plots

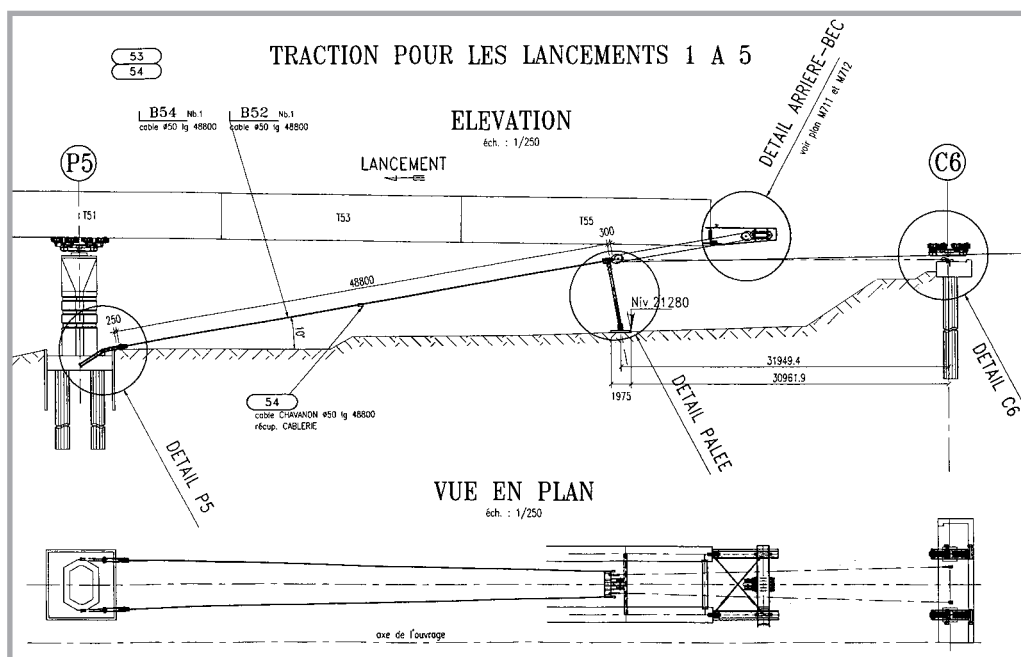
Chaque tablier est découpé en 51 plots de longueur comprise entre 12,30 m et 13,50 m.

L'ordre de coulage des plots est défini précisément en effectuant un pianotage qui impose de bétonner les plots sur appuis après les plots en travée de façon à limiter les fissurations sur appui.



**Vue des piles P5.
A l'arrière plan,
plate-forme de lancement
Baudin Chateaufeuf**

**View of piers P5.
In background,
the Baudin Chateaufeuf
launching platform**



**Système de lancement
Launching system**



**Première poutre
et avant-bec
First beam
and nose**

Réalisation du ferrailage des hourdis

Le ferrailage de la partie de largeur constante entre C6 et P2 est réalisé par plot de 12 m au voisinage de la culée C6. Les panneaux complets sont ensuite acheminés jusqu'à P2 sur des chariots circulant sur les poutres métalliques entre les connecteurs. Cette opération s'effectue à l'aide de treuils.

Le ferrailage de la partie de largeur variable entre

► P2 et C0 est réalisé le long de l'ouvrage et posé à la grue par plot de 12 m.

Équipages mobiles

Les plots de hourdis sont réalisés à l'aide de deux équipages mobiles.

Le premier équipage réalisant des plots de largeur constante est constitué de manière classique :

- ◆ trois poutres transversales principales prenant appui sur les PRS. Elles supportent les coffrages d'encorbellements pendant la translation de l'équipage et le bétonnage ;

- ◆ un plateau central repris également sur les poutres transversales pendant le bétonnage et se déplaçant sur des sabots à rouleau disposés sur les entretoises de l'ouvrage.

Cet équipage réalise 29 plots sur 51.

Le deuxième équipage est plus complexe car la partie du hourdis située entre les PRS varie de 4,70 m à 10,19 m. De plus la courbure de l'ouvrage complique la translation de l'équipage et la géométrie des surfaces de coffrages qui sont rayonnantes.

Cet équipage est également constitué de trois poutres transversales principales qui sont dimensionnées pour la largeur maximale de l'ouvrage. Les pieds supports sont mobiles d'un côté pour s'adapter à la largeur, ainsi que la fixation de l'encorbellement.

La partie centrale est coffrée en trois morceaux pour chaque plot. Leurs dimensions varient de 4,33 m à 4,65 m en longueur et de 4,70 m à 10,19 m en largeur. Ces variations sont obtenues par des tôles coulissantes et l'ajout de panneaux supplémentaires.

Ces panneaux sont supportés par une passerelle de travail de largeur variable couvrant l'ensemble du plot. Cette passerelle permet de monter et descendre les coffrages entre les pièces de pont de l'ouvrage. En position haute et pendant le bétonnage, elles prennent appui sur les pièces de pont. Cette passerelle se translate à l'aide de poutres tiroirs accrochées aux pièces de pont, indépendamment des poutres supérieures.

Cet équipage réalise 22 plots sur 51.

ABSTRACT

Crossing the Seine. A composite bridge between Triel and Vernouillet

V. Avrillon

Two bridges 635 m long in parallel are being built over the Seine at Triel. These dual-girder structures are supported by five piers and two abutments. What makes the project special is its environment (French law on water), its C-level concrete class for alkali-aggregate reaction, and the design of the pot bearings according to new European requirements.

The procedures used are also special : the bridge is not pushed but pulled from anchoring points in the footings, and the travelling formwork varies in the two planes in order to comply with the widening of the structure.

RESUMEN ESPAÑOL

Franqueo del río Sena. Un puente mixto entre Triel y Vernouillet

V. Avrillon

Se han construido sobre el río Sena, en la localidad de Triel, dos puentes paralelos de 635 m de longitud. Se trata de estructuras de doble viga, que toman apoyo sobre cinco pilares y dos estribos. El proyecto es realmente significativo debido a su propio entorno (Ley del agua), su categoría de hormigón de nivel C, para reacción alcalina, y el cálculo dimensional de los apoyos de caja, según los nuevos textos europeos.

La metodología es también de un género particular : el puente no se ha construido por empuje, sino, mejor aún, por tracción desde los anclajes en las zapatas y los equipos móviles son variables (bicicletas) en ambos planos con objeto de respetar la ampliación de la estructura.

Un nouveau pont sur la Liane à Boulogne-sur-Mer

Philippe Matière



P.-DG
Entreprise Matière

Serge Lestrade



Entreprise Matière

Le nouveau pont routier de Boulogne-sur-Mer est un ouvrage d'art de type double tablier "caisson mixte" mettant en œuvre les techniques de l'acier et du béton armé associées.

Les deux tabliers d'une largeur totale de 26 m, enjambent la rivière "la Liane" en trois travées, sur une longueur de 82 m. Réalisé en site urbain, l'ouvrage devait rester "discret" vis-à-vis de son environnement immédiat (rivière navigable, axe routier principal maintenu en circulation perpendiculairement à l'ouvrage, importante zone commerciale dans l'axe et face à l'ouvrage...).

Pour mener à bien cette mission, l'entreprise Matière a utilisé la technique du lancement "équipé" des structures métalliques; les tronçons des poutres caissons ont été préfabriqués dans l'usine Matière, transportés par des convois exceptionnels, assemblés sur les berges de la Liane, rabotés par soudage semi-automatique interpénétré.

Les poutres caissons ainsi reconstituées ont été préalablement équipées des dispositifs de coffrage collaborant, permettant de réaliser ultérieurement la dalle supérieure en béton armé en optimisant considérablement les conditions de travail et de sécurité au-dessus de l'eau ainsi que la protection de la rivière.

L'ensemble a été lancé au-dessus des piles de l'ouvrage puis posé en place définitive par dévérinage.

Depuis l'arrivée de l'autoroute A16 à Boulogne-sur-Mer, la question du raccordement de cet important axe au Port Maritime se posait. La décision a donc été prise de réaliser une liaison, dont le tracé franchit la rivière la Liane à l'entrée de la ville au moyen d'un pont mixte à deux tabliers parallèles de 82 m de portée.

Cette jonction entre les RN1 et RN142 a été réalisée dans le cadre d'une maîtrise d'ouvrage d'État et sous maîtrise d'œuvre du Service des Grands Travaux de la Direction départementale de l'Équipement du Pas-de-Calais.

Un appel d'offres a donc été lancé à l'automne 1998 et les travaux touchent maintenant à leur fin. La construction de cet ouvrage se décompose en fait en deux chantiers, imbriqués l'un dans l'autre. En effet, il a fallu dans un premier temps, traiter le problème des remblais d'accès à l'ouvrage, compte tenu de l'extrême mauvaise nature des matériaux en place. Ce sont près de 10 000 m³ de matériaux rocheux concassés de carrière, protégés en berge par deux rideaux de palplanches qui ont été mis en œuvre. L'exécution de cette phase de terrassement, compte tenu des matériaux limoneux sur lesquels il fallait préalablement circuler, a duré près de 3 mois.

Dans un deuxième temps, l'ouvrage par lui-même a vu sa construction démarrer seulement en juillet 1999.



Opérations d'assemblage-soudage sur le chantier : des tronçons constituant les tabliers métalliques préfabriqués à l'usine Matière SA

Assembly-welding operations on site : steel deck sections prefabricated in Matière's factory



Opérations de lancement des structures métalliques des tabliers

Deck steel structure launching operations

Système de coffrage de la dalle en béton armé des tabliers

Shuttering system for reinforced concrete deck slabs



Système de mise en œuvre des armatures métalliques de la dalle des tabliers

Deck slab reinforcement placing system



Dispositifs de poussage des structures métalliques des tabliers

Deck steel structure pushing system



► CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES ET PRINCIPALES PARTICULARITÉS

Cet ouvrage de 82 m de portée est un pont caisson mixte métal-béton. Il est constitué de deux tabliers parallèles, de 13 m de largeur chacun. La hauteur de chaque caisson métallique est de 1,30 m ; il est surmonté d'une dalle en béton armé de 0,3 m d'épaisseur, qui confère une hauteur totale de 1,6 m à chaque tablier.

En vue en plan, il se compose de trois travées dissymétriques, respectivement de longueur 24,5 m, 30 m et 20 m.

Chaque tablier repose sur deux culées et deux piles en rivière.

Les culées ainsi que les piles sont fondées sur barrettes. Ces dernières ont été construites à l'intérieur d'un batardeau étanche, réalisé en palplanches. Les principales quantités mises en œuvre pour le pont sont reportées en encadré.

■ LES TECHNIQUES RETENUES POUR L'ÉLABORATION DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES

La méthode définie pour optimiser le rapport entre la productivité dans l'usine Matière S.A. de Bagnac (Lot) et le coût des transports, a consisté à découper en long chaque tablier de caisson par demi-largeur de 3 m et par tronçons successifs de 14,30 m.

Le colis ainsi obtenu pouvait être relativement facilement transporté par semi-remorque surbaissée, dans le cadre d'une autorisation de transport exceptionnelle de première catégorie seulement.

La fabrication des structures métalliques fait l'objet de plusieurs phases essentielles :

- ◆ les aciers utilisés ont été commandés selon des dispositions normatives et réglementaires très strictes et spécifiques aux ouvrages d'art. Il s'agit de tôles épaisses de nuance S 355 ;

- ◆ les formats de tôles sont définis selon la technique de l'assemblage à plat. Tous les organes sous-ensembles sont alors sélectionnés en fonction de leur épaisseur puis leurs assemblages sont optimisés au moyen d'un outil informatique, afin de minimiser les chutes d'oxycoupage ;

- ◆ le découpage des tôles a été réalisé au moyen de plusieurs machines d'oxycoupage à commandes numériques, en fonction de leurs géométries, ainsi que de leurs destinations dans la constitution de l'ouvrage ;

- ◆ après cette opération, un banc de pré-assemblage d'une longueur de 30 m et de 6 m de largeur a été conçu, permettant de positionner tous les éléments initialement prédécoupés et d'en assurer le montage parfait, selon la technique des joints "conjugés clamés".

Le soudage en usine a été réalisé en utilisant plusieurs techniques :

- ◆ la première est celle de l'arc submergé embarqué sur des tracteurs robots, permettant de garantir une qualité, régularité et rapidité d'exécution des soudures de grandes longueurs ;

- ◆ la seconde est celle du procédé semi-automatique à chariots mobiles permettant comme son nom l'indique, une grande mobilité associée à un soudage automatique par fil fourré ;

- ◆ la troisième enfin, est une technique plus clas-



Opérations d'accostage et descente sur appuis des structures métalliques des tabliers

Positioning of deck steel structures on the bridge bearings



Dispositifs de glissement des structures métalliques des tabliers

Systems for the sliding of deck steel structures

sique dite "Mag", mettant en œuvre un procédé manuel semi-automatique par fil fourré.

L'ensemble de ces techniques a fait l'objet d'un suivi qualité et de contrôles permanents très stricts, (ressuage, magnétoscopie, ultrasons, radio, dimensionnel, visuel...).

Les connecteurs permettant d'assurer la liaison entre la structure métallique et le béton du tablier sont également positionnés et soudés automatiquement en usine. Des goujons de 22 mm de diamètre, qui ont été soudés au moyen d'un pistolet automatique actionné par un générateur d'une puissance de 2500 A, ont été mise en œuvre. Les sous-ensembles ainsi préfabriqués sont acheminés dans les installations de grenailage qui utilisent la technique des microbilles métalliques à recyclage permanent.

Les structures ainsi traitées sont transférées dans la cabine de mise en peinture, chauffée et recyclée en air, fonctionnant sous contrôle permanent de la température et de l'hygrométrie.

Le complexe de peinture retenu est un système à deux couches de type ACQPA.

L'ensemble des opérations de décapage et de mise en peinture sont réalisés sous suivi qualité et contrôles permanents (de rugosité, épaisseur humide, épaisseur sèche, uniformité d'application et suivi des produits...).

Les sous-ensembles définitivement peints sauf au droits des soudures de chantier sont enfin chargés sur les engins routiers ci-avant mentionnés afin

d'être acheminés vers le chantier de pose, distant de l'usine d'environ 800 km.

■ TECHNIQUES DE POSE DES STRUCTURES MÉTALLIQUES

Les sous-ensembles de tabliers ont été déchargés et calés au-dessus du sol de la plate-forme de montage-lançage située sur la berge de Liane, au moyen de grues télescopiques de forte capacité. Ils ont ensuite été assemblés les uns aux autres transversalement et longitudinalement au moyen des systèmes de clamages préalablement positionnés en usine (cf. *supra*).

Les soudures dites de "raboutage" ont été ensuite réalisées selon le procédé semi-automatique "*innershield*".

Après ces opérations, chaque tablier a été équipé provisoirement d'un avant-bec de lancement, vériné en hauteur sur des chaises de glissement permettant ainsi d'adapter et de respecter les positions optimales de lancement au-dessus des piles et des culées de l'ouvrage.

Le lancement de chaque tablier a enfin été effectué en utilisant la technique du vérin avaleur de câble depuis la plate-forme précitée et jusqu'à leur accostage sur la berge opposée; les ensembles ont ensuite été dévérinés afin de les poser à leur place définitive sur les appuis des culées et des piles.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 391 t de palplanches
- 15 m de trépannage
- 600 m de barrette
- 1 550 m³ de béton immergé
- 370 m³ de béton d'appui
- 600 m³ de béton de tablier
- 3 100 m² de coffrages
- 336 t d'armatures en acier
- 320 t d'acier de construction du tablier
- 3 300 m² de peinture anticorrosion
- 1 700 m² d'étanchéité
- 330 m de corniches métalliques
- 330 m de garde-corps

LES STRUCTURES DE L'OUVRAGE BÉTON ARMÉ : RÉALISATION SELON PROCÉDURES ET OUTILLAGES CLASSIQUES

A cet effet, l'élévation des piles et des culées a été réalisée en utilisant des éléments de coffrages manportables de type "paschal", puis ferrillées au moyen de cages d'armatures préfabriquées sur le chantier et enfin bétonnées par pompage.

Les tabliers en béton armé ont fait l'objet d'une procédure de coffrage mixte associant à la fois un outil coffrant mobile, assurant le coffrage des parties situées en encorbellement, avec des bacs de coffrages métalliques perdus pour les parties centrales des caissons. Le ferrailage du tablier ainsi que le coulage, ont été réalisés par des plots successifs de 11,4 m. Il est à noter que les trottoirs de chaque tablier ont été coulés en même temps que les tabliers. Enfin, une étanchéité de type "chape mince" a été mise en œuvre revêtue d'une structure bitumineuse pour assurer la protection générale des tabliers.

Le pont sur la Liane représente ainsi un trait d'union remarquable permettant la jonction valorisante entre le réseau autoroutier français et le port de Boulogne-sur-Mer, garant d'un nouveau souffle pour son développement.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement

Maitre d'œuvre - Architecte

- Direction départementale de l'Équipement du Pas-de-Calais
- Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées

Entreprise générale

Matière S.A.

Sous-traitants

- Razel Frères : terrassements et génie civil béton
- I.O.A. : études
- ESTM : soudures
- Freyssinet : lançage

Les services associés

- Les Services Techniques de la Ville de Boulogne-sur-Mer
- Le Service de la Navigation de la DDE
- Le coordinateur Sécurité et Protection de la santé

ABSTRACT

A new bridge over the Liane at Boulogne-sur-Mer

Ph. Matière, S. Lestrade

The new highway bridge of Boulogne-sur-Mer is a dual-deck, "composite box girder" structure using steel and reinforced concrete.

The two decks, with a total width of 26 m, straddle the Liane river in three spans over a length of 82 m. Constructed in an urban setting, the bridge had to remain "discreet" with respect to its immediate environment (navigable river, main highway route kept under traffic perpendicular to the bridge, large commercial zone in the centreline of and opposite the bridge, etc.).

To meet these requirements, the company Matière used the "equipped" launching technique for steel structures. The sections of the box girders are prefabricated in Matière's plant, assembled on the banks of the Liane, and then jointed by interpenetrated semi-automatic butt welding.

The box girders thus formed were previously equipped with shuttering devices allowing subsequent pouring of the reinforced concrete upper slab, thus optimising working and safety conditions over water, while also protecting the river.

RESUMEN ESPAÑOL

Nuevo puente sobre el río Liane, en Boulogne-sur-Mer

Ph. Matière y S : Lestrade

El nuevo puente viario de Boulogne-sur-Mer está constituido por una estructura de ingeniería civil de tipo doble tablero "cajón mixto" en el cual se han aplicado las técnicas combinadas del acero y del hormigón armado.

Los dos tableros de una anchura total de 26 m, pasan por encima del río "la Liane" mediante tres tramos, de una longitud total de 82 metros. Esta estructura, ejecutada en medio urbano, debía ser "discreta" para su entorno inmediato (río navegable, eje viario principal mantenido en servicio perpendicularmente a la estructura, importante zona comercial en el eje y frente al puente, etc.).

Para llevar a buen término esta misión, la empresa constructora Matière ha aplicado la técnica del lanzamiento

"equipado" de las estructuras metálicas. Los tramos de las vigas cajón se han prefabricado en la propia planta de Matière, y transportados luego con utilización de medios excepcionales, ensamblados en las márgenes del río Liane, y finalmente, empalmados por soldadura semiautomática.

Las vigas cajón así reconstituidas fueron previamente equipadas con dispositivos de encofrado cooperante, que permite ejecutar ulteriormente una placa superior de hormigón armado y optimando así considerablemente las condiciones de trabajo de seguridad por encima del agua, del mismo modo que la protección del río.



EPA Sénart

Voie de liaison entre le boulevard extérieur de Lieusaint et la voie M4

Ouvrage de franchissement des voies ferrées

La réalisation d'une voie de liaison entre le boulevard de Lieusaint et la voie M4, nécessitait de franchir les voies SNCF (PLM et TGV Sud-Est) au droit de la gare de Lieusaint.

Cette opération entraînait de fait la construction de deux ouvrages d'art dont le texte ci-après détaille les caractéristiques de l'ouvrage principal de type Vierendel (figure 1).

■ DONNÉES GÉOMÉTRIQUES ET FONCTIONNELLES DES OUVRAGES

Le profil en plan du projet est en alignement droit sur toute la longueur de l'ouvrage.

En profil en long, la chaussée est inscrite sur un cercle de 2000 m de rayon. Le franchissement comporte deux ouvrages indépendants. Le premier, de portée égale à 67,00 m, permet le franchissement des voies ferroviaires. Le deuxième, de portée égale à 18,00 m, permet le franchissement des voies routières et l'accès à l'ouvrage principal.

Le profil en travers à réaliser comprend une chaussée à deux voies de circulation de 3,50 m de largeur. Les trottoirs pour piétons sont séparés de la chaussée et ont chacun une largeur de 2,31 m. Le dévers de la chaussée est en toit, avec une pente transversale de 2,5 %.

Les gabarits à respecter sont respectivement de 5,80 m pour l'ouvrage principal et 4,85 m pour l'ouvrage d'accès.

■ CONSISTANCE DES TRAVAUX

Travaux compris dans l'entreprise

Les prestations prévues au marché comprennent toutes les fournitures et les mises en œuvre nécessaires à l'exécution des travaux de construction des deux ouvrages et notamment pour les travaux préliminaires :

- ◆ l'installation de chantier;
- ◆ la préparation des aires de chantier et de la plate-forme de montage et de lancement de l'ouvrage principal;
- ◆ la maintenance de la viabilité des voies d'accès y compris le nettoyage des voies publiques empruntées pendant les travaux;
- ◆ l'exploitation en sécurité des accès;
- ◆ l'aménagement des aires de stockage des matériaux;



Figure 1
Plan d'aménagement
General layout

- ◆ la mise en place de clôtures et les dispositifs de protection nécessaires.

Pour l'ensemble des deux ouvrages :

- ◆ les études d'exécution;
- ◆ les travaux préparatoires;
- ◆ les ouvrages proprement dits (fondations, appuis, tablier);
- ◆ les remblais techniques derrière et à l'intérieur des culées;
- ◆ les superstructures, les équipements de l'ouvrage y compris barrière BN 4, garde-corps, chape d'étanchéité, trottoirs, escaliers, auvents de protection des caténaires;
- ◆ les aménagements de surface sous et à proximité de l'ouvrage : remise en état des abords, etc.;
- ◆ les épreuves de l'ouvrage;
- ◆ la fourniture et pose des joints de chaussée en about de tablier. Ces derniers seront mis en place après réalisation de la couche de roulement qui fait l'objet d'un autre marché;
- ◆ l'étude, la fourniture et la mise en œuvre du dispositif d'éclairage du tablier suivant les principes définis dans l'étude architecturale.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

EPA Senart

Maître d'œuvre

DDE 77

Entreprises

- Génie civil : Demathieu et Bard
- Ossature métallique : Berthold SA
- Calculs aux éléments finis : I.O.A.
- Montage - Lancement : S.M.C.



Contraintes particulières imposées au chantier

La circulation ferroviaire sera maintenue durant la majeure partie des travaux. Toutefois, les prestations suivantes seront réalisées sous consignations caténaïres :

- ◆ mise en place de la berlinoise devant le mur de front de la pile-culée PC1 côté voies SNCF;
- ◆ mise en place et dépose du coffrage du voile frontal adjacent aux voies SNCF de la pile-culée PC1;
- ◆ lancement et mise sur appuis définitifs de l'ossature métallique de l'ouvrage principal;
- ◆ mise en place à la grue des trottoirs de l'ouvrage principal (ossature métallique support de trottoir, platelage, garde-corps, dispositifs d'éclairage des trottoirs, auvents de protection des caténaïres) après préassemblage sur le tablier.

FONDATIONS - APPUIS

Les trois appuis sont fondés sur semelle générale à la cote de 83 NGF (3 m sous le terrain naturel). Le franchissement comporte trois appuis, l'appui

central supportant l'ouvrage principal et l'ouvrage d'accès.

Les appuis d'extrémité sont constitués d'une semelle rectangulaire de 1,50 m d'épaisseur, d'un voile frontal supportant les tabliers et de deux murs latéraux pour le maintien des terres.

L'appui central est une pile culée constituée d'un radier de 1,5 m d'épaisseur et de quatre voiles. Cet appui est remblayé et recouvert par une dalle de transition d'épaisseur 30 cm.

OUVRAGE PRINCIPAL - DESCRIPTION

La structure porteuse de l'ouvrage principal est constituée de deux poutres latérales de type Viendel. Les poutres ont une travée isostatique de 67,00 m, une hauteur variable décrivant une parabole de 5,20 m au milieu de la travée et d'environ 1,20 m sur appuis. Elles sont espacées de 9,20 m. Ces poutres sont réalisées par assemblage des membrures supérieure et inférieure et des montants en forme de caissons. Les montants courants sont espacés tous les 4,20 m à l'exception des deux premiers montants au voisinage des

Montage de l'ouvrage

Erection of structure



appuis qui sont espacés de 2,00 m. La membrure inférieure à une hauteur de 0,60 m et une largeur égale à 0,75 m.

Les poutres Vierendel sont reliées tous les 4,20 m par des pièces de pont en forme de "I" (les deux premières pièces de pont au voisinage des appuis sont espacées de 2,00 m).

La couverture des passerelles pour piétons est constituée d'un platelage en bois qui repose dans le sens longitudinal sur des longerons entretoisés tous les 1,40 m. Ces poutrelles reposent sur des consoles qui sont espacées tous les 4,20 m. Ces dernières sont fixées aux membrures inférieures des poutres latérales.

Dalle pour l'ouvrage principal et l'ouvrage d'accès

La dalle en béton armé a une épaisseur constante de 30 cm. Cette épaisseur comprend le coffrage en bac acier de 4,20 cm de hauteur, nécessaire au bétonnage central de la dalle et une tôle continue au-dessous du bac acier de 0,8 cm d'épaisseur. Le coffrage perdu reposera sur les pièces de pont. Il devra également comporter des points d'appuis intermédiaires. La largeur de la dalle de l'ouvrage principal est de 8,30 m.

PHASES D'ÉTUDE ET FABRICATION

Outre les calculs classiques en service et en phase construction, l'entreprise a été amenée à effectuer, dans le cadre des études d'exécution, un calcul aux éléments finis des zones d'about de l'ouvrage principal.

Pour des raisons de transport, les poutres caissons supérieur et inférieur ont été prévues en trois sous-ensembles complets.

L'ensemble de l'ossature métallique de l'ouvrage a été réalisé à partir des tôles acier S 355 K 2 G 3 et S 355 N approvisionnés chez GTS.

Sur la base des plans d'exécution commencent les travaux de traçage, débit oxycoupage, rabotage. Après quoi, ont lieu les différents assemblages pour la reconstitution des poutres latérales du Vierendel.

Dès la fin de la phase fabrication, Berthold SA a procédé à un montage à blanc par sa centrale interne, relevé transmis au monteur afin que celui-ci reproduise exactement les situations relevées en atelier.

L'atelier a tenu compte des différents retraits de soudure inévitables sur chantier.

Avant expédition sur chantier, l'ossature métallique a reçu un sablage SA 2.5 et les deux premières couches du système C3 ANV 566 en ayant soin de respecter les réservations peinture pour reprises sur site.

PHASES DE MONTAGE

Compte tenu de certaines contraintes (circulation ferroviaire, franchissement des voies), la méthode de lancement s'imposait.

Aussi, l'ouvrage principal fut entièrement assemblé sur la plate-forme située à l'arrière de la culée CO. Pour éviter des travaux en position au-des-



Fabrication en atelier de l'ouvrage

In-plant fabrication of bridge elements



► sus des voies ferrées, l'ouvrage fut lancé avec le coffrage perdu, la plate-forme sous les deux trottoirs, ainsi que les protections caténaïres.

Compte tenu de la coupure mise à la disposition de l'entreprise, le lancement fut effectué en deux nuits :

- ◆ première nuit : préparation lancement accostage avant-bec en C1;
- ◆ deuxième nuit : fin du lancement partie avant-bec.

Par ailleurs, pour éviter les problèmes de renfort éventuel dû à un lancement classique, l'astuce fut de prévoir la mise en place des palées anglaises à l'intérieur des deux culées et de retourner les chaises à galets.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Ossature métallique : 262 t
- Surfaces peintes : 1926 m²
- Béton appuis : 2200 m³

- Les études, fabrication, montage - mise en place + équipements se sont déroulés d'avril 1998 à fin juillet 1999

ABSTRACT

EPA Senart. Connecting road between the outer boulevard of Lieusaint and line M 4. Bridge over the railway tracks

Cl. Fritz

The construction of a connecting road between the outer boulevard of Lieusaint and line M4 called for the crossing of the railway tracks (PLM and TGV South-East train lines) at the Lieusaint train station.

This operation involved the construction of two bridges. The article describes in detail the characteristics of the main bridge, which is of the Viendel type.

RESUMEN ESPAÑOL

EPA Senart. Vía de enlace entre la vía rápida exterior de Lieusaint y la vía M4. Estructura de franqueo de vías férreas.

Cl. Fritz

La ejecución de una vía de enlace entre el bulevar de Lieusaint y la vía M4, precisaba salvar las vías de los Ferrocarriles Franceses (SNCF) -PLM y TGV Sureste- a la perpendicular de la estación de Lieusaint.

Esta operación daba lugar, de hecho, a la construcción de dos estructuras de ingeniería civil cuyas características de la parte principal, de tipo Viendel, figuran descritas detalladamente en el artículo.

Construction d'une passerelle métallique pour la gare du Futuroscope à Poitiers

Le succès croissant du parc Futuroscope nécessitait, afin de bénéficier pleinement des avantages liés à la desserte par TGV, d'aménager des circulations horizontales et verticales dans les installations de la gare nouvelle de manière à faciliter le déplacement des flux des nombreux visiteurs parmi lesquels les personnes handicapées ne devaient pas être oubliées.

L'article présente les réalisations effectuées pour y répondre. L'harmonie architecturale des formes retenues, les matériaux utilisés (acier, verre, bois), la transparence qu'ils ont permis et la bonne intégration de l'ensemble dans l'environnement de la gare nouvelle, font de cette réalisation, une fois encore, un exemple probant des possibilités offertes par l'acier dans la construction.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet avait pour objet, la construction de circulation verticale et horizontale permettant aux piétons l'accès aux quais de la station TGV, à partir du parvis du bâtiment voyageurs du Futuroscope de Poitiers (Vienne).

L'ouvrage réalisé forme un ensemble constitué des éléments suivants :

- ◆ une passerelle à structure métallique destinée à franchir les voies de circulation des TGV, deux voies d'évitement ainsi qu'une voie de desserte ferroviaire de la zone industrielle de Chasseneuil ;
- ◆ un plan incliné ou rampe permettant de raccorder la passerelle aux quais avec une pente de 10 % ;
- ◆ deux escaliers métalliques fixes ;
- ◆ un ascenseur sous gaine vitrée ;
- ◆ un escalier mécanique.

Compte tenu de son importance, le projet a été séparé en quatre lots indépendants attribués à l'entreprise générale aux Ets J. Richard Ducros en charge des prestations relatives au lot B1 (charpente métallique) avec pour sous-traitants les entreprises :

- ◆ Muzzolini et Fils pour le lot B0 (gros œuvre - fondations) ;
- ◆ Jourget SA pour le lot B2 (platelage bois) ;
- ◆ Aquitaine de Constructions Métalliques et Mécaniques (ACMM) pour le lot B3 (garde-corps - protections caténaïres).

■ CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Fondations

Bien qu'initialement prévues par pieux forés tubés de diamètre 50 et 60 cm, elles ont été réalisées par micropieux jusqu'au niveau de la couche d'as-



© Thierry Chatel

**Vue de l'ouvrage
terminé**

**View of completed
structure**

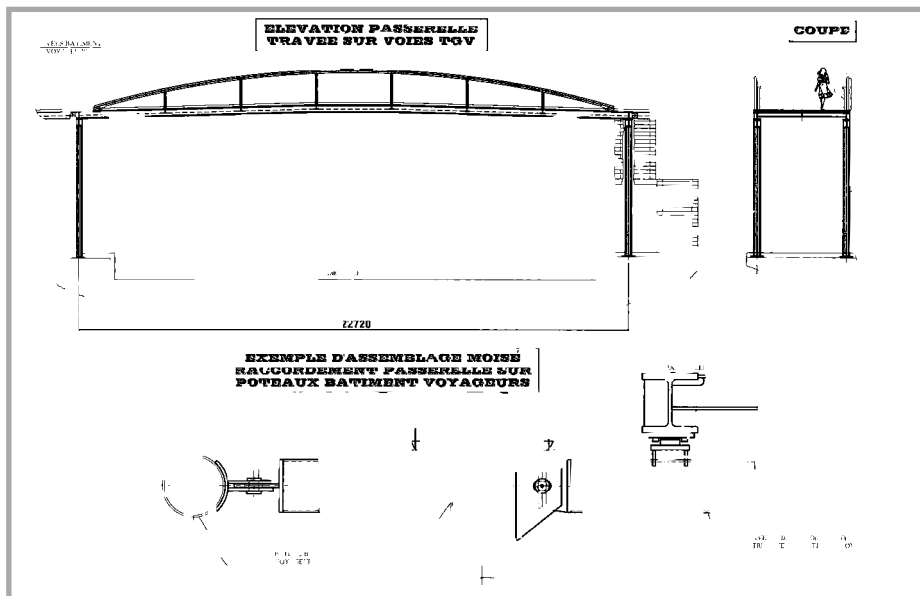
sise calcaire. Deux diamètres ont été retenus :
◆ 73 mm pour les escaliers fixes, la rampe et la fosse de l'ascenseur et de l'escalier mécanique (29 micropieux) ;
◆ 88,9 mm pour la passerelle (16 micropieux).
Ces micropieux sont surmontés de massifs béton, de dimensions variables suivant leur localisation, qui leur transmettent les efforts apportés par les différentes structures.

Caractéristiques générales

Passerelle

La passerelle, de largeur 4 m et longueur 52 m environ répartie en quatre travées isostatiques, se décompose en trois parties :

- ◆ la première part du bâtiment voyageurs et reçoit



En haut, élévation de la passerelle. Travée sur voies TGV. En bas, exemple d'assemblage moisé. Raccordement de la passerelle sur poteaux bâtiment voyageurs

Above, elevation of the walkway. Span over TGV high-speed railway tracks. Below, example of strutted assembly. Connection of walkway on passenger building columns



un escalier fixe. Elle correspond aux deux premières travées de 11,50 m et 12,50 m environ ;

- ◆ la seconde de 22,50 m environ de portée, enjambe les voies TGV ;

- ◆ la troisième de portée 5,50 m environ sert de palier pour les ouvrages de circulation verticale (escalier fixe, rampe, ascenseur et escalier mécanique). Sa structure porteuse est formée de huit poteaux métalliques de 273 mm de diamètre. Ces poteaux, de hauteur et d'épaisseur variables selon leur localisation, sont encastrés en pied et reliés en tête deux à deux par une traverse, formant ainsi des portiques dans le sens perpendiculaire à l'axe de la passerelle.

Cette structure porteuse reçoit les poutres longitudinales latérales en HEM 280, espacées de 3,70 m environ qui supportent le réseau de poutres transversales en HEA 180, disposées tous les 3,10 m environ, la poutre longitudinale centrale en HEA 180 également, ainsi que le platelage bois qui sert de revêtement de sol.

Un dispositif en tôle, pour la récupération des eaux pluviales est également mis en œuvre, par soudure, au niveau de la semelle supérieure des poutres longitudinales et latérales. Ces bacs d'écoulement et de récupération déversent les eaux dans des tuyaux de descente disposés dans les poteaux. Ce dispositif assure également le contreventement horizontal de la passerelle.

Au niveau de l'escalier mécanique, la poutre longitudinale latérale en HEM 280 est modifiée pour s'adapter aux pièces de fixation de celui-ci.

Pour la travée sur les voies TGV, les poutres latérales longitudinales sont constituées de poutres échelles dont la membrure inférieure est le profilé HEM 280 rencontré dans les autres travées. Deux goussets soudés sur celle-ci permettent la liaison avec la membrure supérieure en PRS, ajourée

régulièrement et cintrée. Des montants verticaux en PRS, de hauteur et de largeur variables, assurent la liaison entre ces deux membrures. Au niveau de la membrure inférieure, des goussets extérieurs permettent la fixation des ossatures porteuses (en T) des protections caténaïres.

Rampe

La rampe de 2,50 m de large pour 57 m de long environ est composée d'une partie en structure métallique et d'une partie en béton (les dix derniers mètres en pied de rampe) recouvertes toutes les deux du platelage bois évoqué ci-dessus.

La partie métallique comprend quatre travées isostatiques (3 x 12,50 m + 9,50 m côté béton).

Sa structure porteuse est composée de trois ensembles métalliques, poteau central encastré en pied de 323 mm de diamètre et poutre console en HEA 340. Sur ces éléments, viennent se fixer trois poutres longitudinales en HEA 340, espacées de 1,10 m, qui supportent le réseau de poutres transversales en IPE 100 disposées à 3 m environ de part et d'autre des poteaux.

Un dispositif en tôle pour la récupération des eaux pluviales est également mis en œuvre, par soudure, au niveau de la semelle supérieure des poutres longitudinales. Comme pour la passerelle, ces eaux sont évacuées par des tuyaux de descente, disposés dans les poteaux ou contre la partie béton, pour la travée métallique en contact avec celle-ci.

Escaliers fixes

Deux escaliers fixes à deux volées avec palier intermédiaire sont prévus au niveau de la passerelle. Ils sont composés d'une structure métallique, avec marches en bois, qui laissent une largeur de passage libre de 1,40 m. Cette structure comprend :

- ◆ un poteau de 139 mm de diamètre, encastré en pied et sur lequel repose le palier intermédiaire ;
- ◆ deux limons en HEA 240 ;
- ◆ un système de crémaillère en tôle, soudée sur les limons des volées ;
- ◆ un palier intermédiaire constitué de profilés HEA 240 soudés ou boulonnés entre eux et surmontés du platelage bois.

Jusqu'au raccordement avec la passerelle, l'escalier situé aux abords des voies TGV, supporte sur un limon et une partie du palier intermédiaire, des goussets extérieurs, permettant la fixation des ossatures porteuses (en T) des protections caténaïres.

Gaine vitrée de l'ascenseur

Un ascenseur, permettant la liaison entre la passerelle et les quais des voies TGV, assure le raccordement rampe-passerelle.

Cet ascenseur circule dans une ossature porteuse de 2,50 m x 2,60 m x 10 m environ, vitrée sur toutes ses faces et en couverture et réalisée en tubes métalliques de 140 mm x 140 mm, soudés entre eux

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Fondations

- Micropieux : 480 ml
- Béton massifs tête de pieux : 21 m³
- Acier massifs tête de pieux : 1800 kg

Appuis

- Béton rampe béton, fosse ascenseur et escalier mécanique : 33 m³
- Aciers correspondants : 3500 kg

Charpente métallique

80 t aciers S235 J0, S275 J0H, ST 37-3K, S355K2G3 et S355N

Vitrage

100 m²

Revêtement bois

425 m²

Garde-corps

300 ml

et bouchés en tête. La fixation à la passerelle est prévue par l'intermédiaire de quatre PRS en forme de T.

Les volumes vitrés de type VEA et de 20 mm d'épaisseur sont fixés grâce à des rotules en acier inoxydable, vissées sur des douilles, soudées à l'ossature métallique.

L'étanchéité entre les vitres est assurée par un joint Néoprène.

Protection de l'ossature métallique

Toutes les surfaces des éléments métalliques de la charpente sont protégées contre la corrosion. Le dispositif anticorrosion, certifié ACQPA, a été mis en œuvre conformément au fascicule 56 du CCTG avec les systèmes suivants :

- ◆ C4 ANI 512 (deux couches de Brai) pour le dessus de la tôle de réception et d'évacuation des eaux de pluie ;
 - ◆ C4 GNV 821 (deux couches sur galvanisation) pour les poteaux de la passerelle et de la rampe (finition RAL 9010) ;
 - ◆ C3 ANV 566 (trois couches) pour les zones autres que celles énumérées ci-dessus (finition RAL 9010).
- Ces différents systèmes ont été appliqués en totalité dans les ateliers J. Richard-Ducros.

Superstructures

Les principales superstructures équipant l'ouvrage sont les suivantes :

- ◆ revêtement constitué d'éléments en bois ;
- ◆ garde-corps ;
- ◆ protections caténaïres.

Revêtement

Le revêtement en bois, d'essence du type Bangkirai, se décompose en plusieurs éléments différents suivant leur localisation.

Pour la passerelle, nous trouvons successivement :

- ◆ des lambourdes, de section rectangulaire 70 mm x 47 mm ou 110 mm x 47 mm, fixées sur les trois poutres longitudinales par goujons Nelson, en acier galvanisé. Pour éviter tout contact acier/bois, une bande Néoprène, de 3 mm d'épaisseur, est intercalée entre ces lambourdes et l'ossature métallique ;

- ◆ un platelage de finition, composé de lames de 2 m de longueur, 146 mm de largeur et 50 mm d'épaisseur, fixé aux lambourdes par vis à bois, cadmiée ou bichromatée. Un espace de 10 mm de large est aménagé entre ces lames, pour permettre l'écoulement des eaux de pluie. Chaque lame dont les arêtes sont chanfreinées pour éviter une détérioration rapide, possède un linéaire de bande antidérapante, de 20 mm de large, formée de résine type époxy et de corindon.

Pour la rampe, le principe est identique à celui évo-



Pied de poteau avec regards d'évacuation des eaux pluviales et alimentation électrique

Base of column with rainwater drainage and electric power chambers



Raccordement gaine ascenseur passerelle

Walkway lift shaft connection

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Réseau Ferré de France (R.F.F.)

Maître d'œuvre conception et études

SNCF, Direction déléguée à l'aménagement et au patrimoine

Maître d'œuvre travaux

SNCF EVEN Poitou Charentes Est

Exécution des travaux

Ets. J. Richard-Ducros avec les entreprises sous-traitantes :

- Muzzolini : gros œuvre et fondations
- Jourget : platelage bois
- ACMM : garde-corps et protections caténaïres
- SMC : montage de l'ossature métallique
- Prezioso : protection anticorrosion

Bureaux de contrôle

- Arep Paris
- Igops C Paris
- Auxitec Rouen

qué pour la passerelle ; toutefois dans ce cas :

- ◆ les lambourdes ont une section rectangulaire de 110 mm x 47 mm ;
- ◆ les lames, de longueur 1,25 m possèdent deux linéaires de bande antidérapante compte tenu de l'importance de la pente (10 %) ;
- ◆ pour la rampe béton, les goujons sont remplacés par des tiges inox scellées à la résine.

Pour les escaliers fixes enfin, le revêtement est constitué de marches de largeur 355 mm et de 60 mm d'épaisseur. La longueur de ces marches est différente suivant qu'il s'agit de celles sur limons (1,70 m) ou sur palier intermédiaire (3,45 m). Ces marches sont constituées de lames assemblées entre elles, par rainures et fausses languettes non débouchantes. Comme pour les lambourdes, elles sont fixées par goujons Nelson, en acier galvanisé, soudés sur les crémaillères des limons, ou sur l'ossature métallique du palier intermédiaire.

Raccordement
de la passerelle
au bâtiment
voyageurs

Connection
of walkway
to passenger
building



Escalier
côté gaine ascenseur

Stairway
on lift shaft side



Escalier
côté bâtiment
voyageurs

Stairway
on passenger
building side



► Pour éviter tout contact acier/bois, la bande Néoprène intercalée entre les marches et l'ossature, présente dans ce cas, une épaisseur de 5 mm. Toutes les marches possèdent un linéaire de bande antidérapante de 30 mm de large. Au niveau du palier intermédiaire, un espace de 10 mm de large entre les marches est prévu pour faciliter l'écoulement des eaux de pluie. Pour l'ensemble de l'ouvrage, les trous de fixation du revêtement en bois sur l'ossature métallique sont calfeutrés par des bouchons en bois de même nature.

Garde-corps

Un garde-corps équipe la passerelle, la rampe, les escaliers fixes, les différents raccordements entre la passerelle et la cage d'ascenseur, l'escalier mécanique et la parvis du bâtiment voyageurs.

Ce garde-corps est constitué de :

- ◆ montants verticaux au fer plat de 80 mm x 12 mm ; au droit des coffrets d'éclairage, ces montants sont doubles et espacés de 100 mm ;
- ◆ lisse supérieure en tube de diamètre 48,3 mm vissée sur les montants par l'intermédiaire de goussets d'épaisseur 12 mm soudés sur celle-ci ;
- ◆ sous-lisses hautes constituées de deux barres carrées, pleines de 20 mm x 20 mm, vissées sur les montants ;
- ◆ tôle en partie basse, perforée, épaisseur de 20/10 mm fixée aux montants verticaux et aux sous-lisses basses encadrant celle-ci.

Ces sous-lisses sont constituées de deux barres carrées pleines de 20 mm x 20 mm, identiques aux sous-lisses hautes, pour le garde-corps sur les escaliers fixes. Pour la passerelle et la rampe ces sous-lisses sont constituées de profilés clipsables, en aluminium thermolaqué RAL 9010, permettant ainsi la circulation de câbles électriques.

A l'exception de la lisse supérieure et des goussets qui sont en acier inox, les autres éléments non clipsables sont en acier galvanisé, protégés de deux couches de peinture RAL 9010.

La fixation des montants verticaux à l'ossature porteuse est adaptée à chaque support :

- ◆ pour la passerelle et la rampe métallique, elle est réalisée par platines soudées sur les montants et fixées à l'ossature par goujons ;
 - ◆ pour la rampe béton, les goujons sont remplacés par des chevilles chimiques ;
 - ◆ pour le raccordement sur l'escalier mécanique, les platines sont fixées sur des contre-platines solidaires de l'escalier ;
 - ◆ pour les escaliers métalliques fixes, elle est assurée par des flasques formés de deux fers plats boulonnés aux montants et soudés à l'ossature.
- Sur la passerelle et la rampe sont prévus des deux côtés, tous les 3 m environ, des coffrets pour appareils d'éclairage intégrés aux garde-corps au niveau des montants verticaux doubles.

Des coffrets pour enceintes acoustiques sont également intégrés, mais au droit de la tôle perforée. Ils sont positionnés en quinconce des deux côtés de la passerelle et d'un seul côté de la rampe.

Protections caténares sur passerelle (travée sur voies TGV) et escalier fixe

Elles sont constituées de cadres, en panneaux grillagés, bordés et fixés aux ossatures porteuses en T. Le remplissage est prévu par grillage en acier galvanisé à maille tissée de 30 mm x 30 mm pour la passerelle et en treillis soudé inox à maille de 40 mm x 40 mm pour l'escalier fixe.

■ MÉTHODE ET PROCÉDÉS D'EXÉCUTION

Réalisation des fondations

Après implantation des axes de micropieux et mise en position de la foreuse, le travail est effectué avec un outil de forage travaillant en rotation simple, permettant de réaliser un forage de 220 mm de diamètre, jusqu'à l'ancrage du micropieu, prévu dans l'assise calcaire. Le remplissage du forage, avec le coulis de gaine, est ensuite réalisé gravitairement par le fond et par l'intermédiaire du train de tiges de forage.

Le tube armature du micropieu et son équipement complet sont alors descendus dans le forage ; le diamètre de ce tube lui permet d'être enrobé d'au moins 50 mm par le coulis de gaine, pour assurer une protection efficace vis-à-vis de la corrosion. La mise en œuvre du coulis d'injection dans le tube s'effectue en une seule fois deux à trois heures après.

Après une période de séchage de 48 heures minimum, il est procédé au recépage du tube armature de chaque micropieu, au niveau d'assise du massif en béton armé, qui coiffe la tête du ou des micropieu(x).

La transmission des effets, de ce massif au tube armature, se fait par l'intermédiaire d'une platine métallique carrée, placée à plat sur le tube et boulonnée sur une tige filetée, scellée en tête du tube après forage du coulis d'injection.

Fabrication de la charpente métallique

La fabrication de la charpente métallique a été réalisée en ateliers, suivant trois phases principales détaillées ci-après :

◆ **phase n° 1** : traçage, débit, oxycoupage des différents éléments ;

◆ **phase n° 2** : reconstitution, habillage, finition ;

◆ **phase n° 3** : montage à blanc.

La reconstitution de la structure a été menée conformément au phasage suivant :

◆ assemblage, soudage des poutres transversales et longitudinales puis des divers raidisseurs et platines ;

◆ reconstitution des deux arcs de la passerelle (travée sur voies TGV) après raboutage des différentes sections ;

◆ assemblage, soudure des platines et attaches diverses des poteaux ;

◆ fabrication des éléments secondaires (escaliers, gaine ascenseur, etc.).

En fonction de l'avancement de la fabrication et avant leur mise en peinture, deux ou trois tronçons consécutifs sont présentés à blanc dans leur position définitive, suivant la contre-flèche de fabrication et la pente. Les goujons de fixation du platelage

bois et des garde-corps sont mis en œuvre dans cette phase.

A ce stade de la fabrication, un contrôle final avec vérification de la géométrie des éléments est assuré par le service contrôle externe de l'entreprise, qui aura préalablement et pendant toutes les phases de fabrication, vérifié la conformité des tolérances dimensionnelles et des soudures.

Après la mise en peinture des différents éléments et avant leur expédition sur site, le platelage bois est monté d'atelier sur l'ensemble de la structure métallique, à l'exception des escaliers fixes et des zones de raccordement entre les différents éléments.



© Thierry Chatelet

Phases de construction sur site de l'ossature métallique

Compte tenu du site et de la géométrie de l'ouvrage, la seule solution de mise en place réaliste consistait en une pose à la grue, depuis les plateformes mises à disposition côté bâtiment voyageurs et côté rampe.

L'ossature métallique a été livrée depuis les ateliers Richard Ducros de Charmes (88), sur le site, en différents tronçons, correspondants pour la passerelle et la rampe à la largeur totale et à la longueur de chaque travée, soit huit éléments (4 + 4). Les escaliers fixes, comme les différents poteaux constituant l'ossature porteuse de la structure ont été transportés en vrac ; la gaine métallique de l'ascenseur a, quant à elle, été livrée en un seul élément.

La livraison des différents éléments, dont le poids varie de 3 tonnes (gaine ascenseur) à 24 tonnes environ (passerelle travée sur voies TGV) s'est effectuée en plusieurs phases en respectant l'ordre suivant :

Vue de l'ouvrage terminé

View of completed structure



Vue de l'ouvrage terminé
View of completed structure

© Thierry Chatel

ABSTRACT

Construction of a steel walkway for the Futuroscope station in Poitiers

Fr. Charmasson

The growing success of the Futuroscope park, and the advantages afforded by France's TGV high-speed train, called for the provision of horizontal and vertical corridors in the installations of the new station. These facilities are designed to simplify the movement of the many visitors to the site, without forgetting the handicapped.

The article describes the improvements made to meet these requirements. The architectural harmony of the chosen elements, the materials used (steel, glass, wood), the transparency they have provided and the good overall integration within the environment of the new station, make this project another fine example of the possibilities offered by steel in construction.

RESUMEN ESPAÑOL

Construcción de una pasarela metálica con destino a la estación del Futuroscope, en Poitiers (Francia)

Fr. Charmasson

El éxito cada vez mayor del parque "Futuroscope" precisaba, con objeto de aprovechar plenamente las ventajas derivadas del servicio por Tren de Alta Velocidad, acondicionar las circulaciones horizontales y verticales en las instalaciones de la nueva estación, para facilitar el desplazamiento de los flujos de numerosos visitantes, entre los cuales personas discapacitadas, que no se debían olvidar.

Se presentan en este artículo las obras y trabajos efectuados para responder a todo ello. La armonía arquitectónica de las formas adoptadas, los materiales utilizados (acero, vidrio, madera), la sensación de transparencia que se ha logrado y la correcta integración del conjunto en el medio ambiente de la nueva estación, hacen de este proyecto, una vez más, un ejemplo demostrativo de las posibilidades que brinda el acero en sus aplicaciones para la construcción.

Côté bâtiment voyageurs :

- passerelle travée sur voies TGV + vrac correspondant,
- passerelle deux travées côté bâtiment voyageurs + vrac correspondant dont un escalier fixe ;

Côté rampe :

- passerelle dernière travée + vrac correspondant dont un escalier fixe,
- rampe quatre travées + vrac correspondant,
- gaine ascenseur.

La mise en place de chaque élément s'est effectuée dès sa livraison sur site, avec une grue de 160 t pour la travée sur voies TGV et de 60 t pour le reste de l'ossature métallique.

Pour la travée sur voies TGV toutefois, les panneaux de protection caténaires ont été mis en place au sol, avant levage du tronçon, afin d'éviter toutes coupures supplémentaires.

A l'exception de la jonction de la traverse supportant la première travée de la passerelle avec les poteaux existants du bâtiment voyageurs, aucun assemblage n'a été réalisé par soudure mais par attaches moisées ou boulonnées.

Après montage complet de l'ossature métallique et avant reprises de peinture dans les zones détériorées lors du transport ou du levage, les garde-corps, les vitres de la cage ascenseur, le solde du revêtement bois et les panneaux de protection caténaires sur l'escalier ont été posés pour donner à l'ouvrage son allure définitive.

Une nouvelle passerelle sur le Cher à Tours

Philippe Matière



P.- D.G
Entreprise Matière

Serge Lestrade



Entreprise Matière

La nouvelle passerelle de Tours est un ouvrage d'art, suspendu entre ciel et eau sur une longueur de 235 m sans aucun appui intermédiaire. La largeur utile de trois mètres, offrira aux usagers un confort optimal leur permettant d'apprécier l'exceptionnelle architecture aérienne, fine et transparente.

Cet ouvrage propose une technologie innovante mettant en œuvre un seul câble porteur central lui-même supporté par deux pylônes métalliques de 32 m de hauteur, positionnés sur les berges du Cher.

Le tablier de la passerelle est constitué d'une structure métallique de type "poutre échelle", stabilisée par deux câbles latéraux, surmontée d'un platelage en bois à surface antidérapante et sécurisée par des garde-corps latéraux métalliques.

Implantée en milieu urbain sensible, l'ouvrage est réalisé sous charte "Chantiers propres" visant tout particulièrement à respecter et protéger les usagers et populations environnantes. Cette démarche innovante, anticipe les nouvelles réglementations qui entreront en vigueur en 2002.

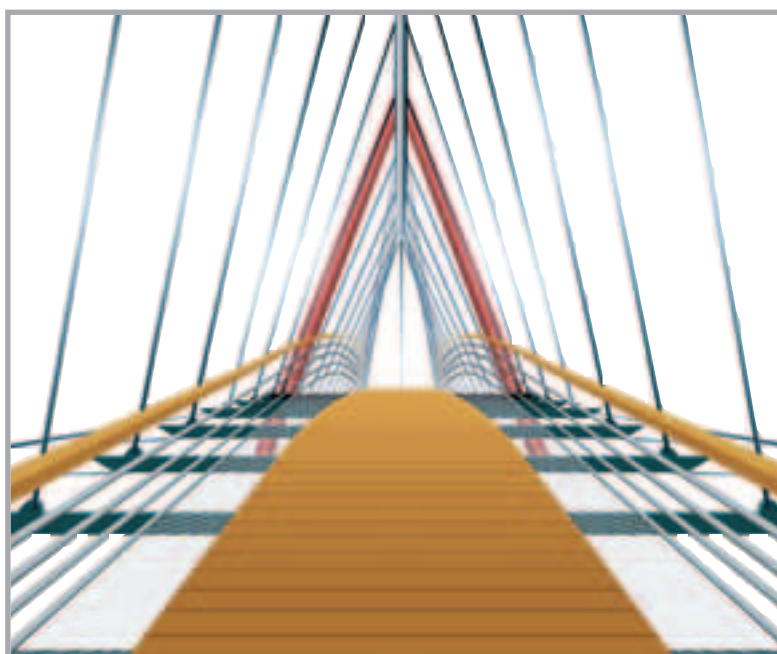
La ville de Tours a décidé depuis longtemps de mieux joindre le quartier dit des "Deux" au centre de l'agglomération, au moyen d'un lien psychologiquement marquant et techniquement unique.

A cet effet, deux options fortes ont été prises. En premier lieu la circulation des personnes a été privilégiée, et c'est bien la raison pour laquelle l'ouvrage envisagé devait être réservé aux piétons et aux cyclistes. Ensuite, le jury du concours chargé de sélectionner l'équipe de maîtrise d'œuvre, a retenu une solution technique osée et innovante, n'empiétant pas physiquement dans le lit de la rivière le Cher.

L'équipe retenue constituée par le groupement Sceaurooute (mandataire) - Spielmann (architecte) en charge de la totalité de la maîtrise d'œuvre a conçu l'ouvrage à l'issue d'une réflexion portant en particulier sur trois contraintes majeures du dossier de concours :

- ◆ une contrainte économique particulièrement forte ;
- ◆ une contrainte liée à la loi sur l'eau limitant le nombre d'appuis à deux, en rivière ;
- ◆ une contrainte de délai.

C'est la convergence de l'analyse de ces contraintes qui a conduit à un choix d'ouvrage original dont la structure permet une expression architecturale exceptionnelle. La passerelle sur le Cher est donc un ouvrage d'art suspendu entre ciel et eau. Sa portée est de 235 m de long, sa largeur utile de 3 m. L'ouvrage fin et transparent offre un confort exceptionnel aux usagers aussi bien par sa concep-



235 m entre ciel et eau

235 m between sky and water



Mise en œuvre des micropieux (fondations)

Use of micropiles (foundations)

Massifs d'appui
des pieds de pylône
*Tower foundation
blocks*



Opérations de relevage
de l'un des deux pylônes
métalliques

*Lifting
one of the two steel
towers*



tion structurelle particulièrement stable que par un ensemble de détails non moins importants (anti-glissement, garde-corps surélevé, belvédère, profil anti-vertige des planches du platelage bois...).

LES TECHNIQUES DE CONCEPTION

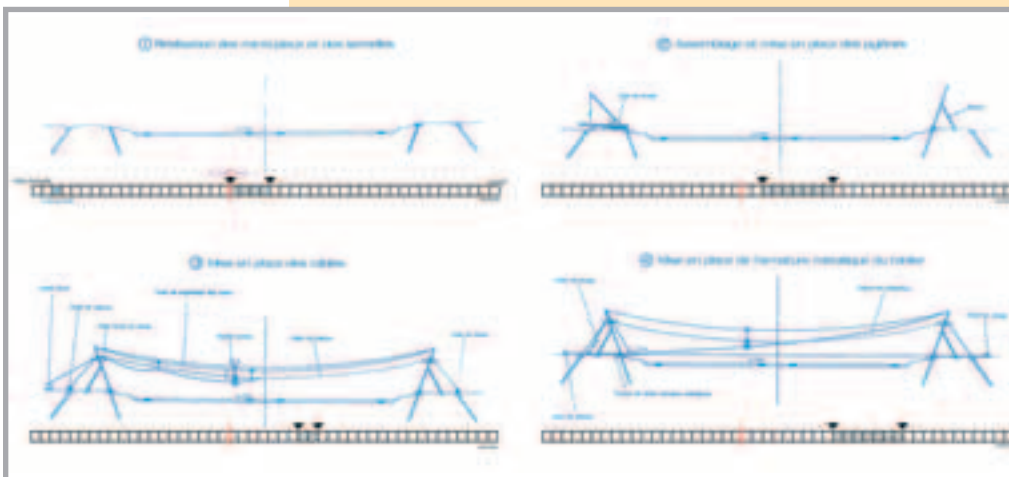
Elles ont été retenues par l'équipe Alain Spielmann - Scetauroute. Les pylônes, placés sur les deux rives, sont des triangles métalliques de 32 m de hauteur et de 22 m de base. Ces deux ensembles constituent les pièces maîtresses de la passerelle. Réalisés en tubes d'acier de 800 mm de diamètre, les pylônes sont articulés à leur base pour compenser les effets thermiques dans les câbles ainsi que les surcharges appliquées au tablier. Le câble porteur est quant à lui formé de quatre câbles de 60 mm de diamètre, tendu entre les deux sommets des pylônes. Ce câble sert de support aux 30 paires de suspentes reliées au tablier métallique de la passerelle.

Ces suspentes, disposées à intervalles réguliers de 7,50 m, sont fixées par des rotules articulées aux consoles métalliques du tablier.

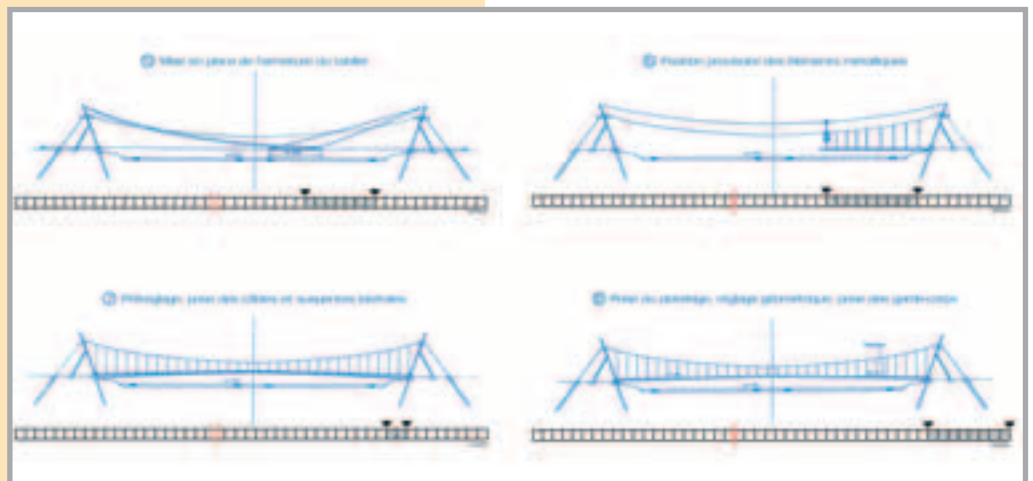
Des barres de liaison relient ces traverses aux câbles latéraux pour assurer la stabilité de l'ensemble. Une grande partie de l'originalité architecturale et technique de l'ouvrage tient dans ce dispositif à un seul câble de tête et deux câbles latéraux.

Le tablier est constitué d'une structure métallique de type "poutre échelle" équipée de consoles latérales reliées aux suspentes précitées. Le platelage est réalisé en bois exotique, traité en surface par des bandes antidérapantes en résine et corindon; les lattes qui le composent sont découpées en biseau, selon le concept anti-vertige. L'ensemble du tablier est bordé de garde-corps métalliques galvanisés légèrement inclinés vers l'intérieur du cheminement et d'une hauteur de 1,30 m.

A l'issue de la consultation des entreprises, le groupement d'entreprises Freyssinet - Matière a fina-



Principe
de construction
*Construction
principle*



lement été retenu ; Freyssinet pour sa spécialisation dans les ouvrages haubanés ou suspendus, Matière SA pour son savoir-faire en construction d'ouvrages d'art métalliques et de génie civil ainsi que pour la compétitivité de leur offre.

■ LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION

Elles furent développées par le groupement d'entreprises, sous le double contrôle d'Alain Spielmann et de la société Scetauroute.

La réalisation globale de cet ouvrage, prévue sur 11 mois se décompose en plusieurs phases :

- ◆ les études d'exécution ;
- ◆ la fabrication des éléments constituant les structures de l'ouvrage ;
- ◆ l'assemblage de ceux-ci sur le site.

Les études d'exécution ont été menées par les deux entreprises, et cette phase a duré environ 2 mois.

La fabrication des structures métalliques du tablier est réalisée en partie dans l'usine de constructions métalliques de Matière SA.

La phase d'assemblage assurée par l'entreprise Freyssinet, représente moins des deux tiers de la durée totale de la réalisation. Elle est ponctuée de temps fort, qui correspondent à l'installation des composants essentiels de la passerelle à savoir :

- ◆ la première phase a consisté en la construction des appuis en béton, fondés sur des micropieux, et positionnés sur les berges du Cher ;
- ◆ puis l'implantation des pylônes a eu lieu en deux semaines d'assemblage-soudage et en une seule journée de pose pour chaque élément, au moyen de grues télescopiques de 160 t de capacité. Ces opérations se sont révélées très délicates et spectaculaires compte tenu de la géométrie et l'inclinaison de ceux-ci ;

- ◆ la mise en place du câble porteur central est assurée au moyen d'un câble auxiliaire de suspension, préalablement installé en tête des pylônes. Le lancement des tronçons du tablier métallique est réalisé selon la technique dite du "blondin" ; des torons de travail sont tendus entre les deux rives du Cher, permettant ainsi de suspendre et transporter les structures du tablier jusqu'à leur position définitive.

Après raccordements successifs, les charges sont transférées progressivement aux suspentes ainsi qu'au câble porteur central. En quelques chiffres enfin, l'ouvrage a nécessité la mise en œuvre de :

- ◆ 160 t d'acier de charpente métallique ;
- ◆ 730 m² de platelage en bois ;
- ◆ 785 m de câbles de suspension et de stabilisation latérale ;
- ◆ 1 180 m³ de béton pour les appuis et les corps-morts arrière ;
- ◆ 1 320 ml de micropieux ;



Début des opérations de lancement du tablier métallique
Start of steel deck launching operations



Opérations de lancement du tablier métallique
Steel deck launching operations



Mise en œuvre des câbles de suspension définitive du tablier métallique
Placing the final deck suspension cables



Mise en œuvre du platelage en bois exotique muni de bandes rugueuses antidérapantes et usiné selon la technique anti-vertige
Tropical hardwood flooring with non-slip strips, designed to offset fear of heights

- ◆ 2 500 m² de surface de charpente traitée anti-corrosion ;
- ◆ 7 000 boulons d'assemblage, pour un marché global d'environ 10 millions de francs.

Jouant des couleurs des matériaux, des ses garde-corps galvanisés, des mains courantes en bois, des pylônes rouges, de ses câbles tendus tel une toile d'araignée et de son subtil éclairage nocturne, cet ouvrage d'exception constituera un trait d'union pratique, novateur, esthétique entre les rives du Cher et marquera d'une manière prépondérante le développement urbain de la ville de Tours. Cet ouvrage est également symbolique d'une volonté forte de la ville de Tours et de l'audace de son maître d'ouvrage dans le choix effectué.

L'ensemble de ces opérations aura nécessité la mise en œuvre de moyens techniques industriels et humains de grande envergure et auront permis de respecter la tradition historique des ouvrages suspendus, tout en modernisant leur conception pour les adapter à des techniques nouvelles de constructions.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Donneurs d'ordres

- Ville de Tours
- Département d'Indre-et-Loire et Région Centre

Maître d'ouvrage

Société d'Équipement de la Touraine

Maître d'œuvre

Scetauroute - Ouvrage d'art et génie civil

Architecte

Alain Spielmann

Entreprises

- Freyssinet France
- Matière S.A.

Services associés

- Services Techniques de la Ville de Tours
- Service de la Navigation de la DDE
- Coordinateur Sécurité et Protection de la santé

ABSTRACT

A new footbridge over the Cher in Tours

Ph. Matière, S. Lestrade

The new footbridge in Tours is suspended between sky and water 234 m over the Cher without any intermediate support. Its useful width of 3 m will offer users optimum comfort, with the added enjoyment of the structure's streamlined, transparent architecture. This structure is based on innovative technology using a single central carrying cable itself supported by two steel towers 32 m high on the banks of the Cher.

The deck of the footbridge is made up of a "ladder girder" steel structure held by two lateral stay cables. The structure is designed with non-slip wooden flooring and steel safety side railings. Located in a sensitive urban area, the bridge complies with the "Clean Jobsite" charter aimed particularly at ensuring the protection of the surrounding environment and its users. This innovative approach anticipates on new regulations to go into effect in 2002.

RESUMEN ESPAÑOL

Nueva pasarela sobre el río Cher, en Tours (Francia)

Ph. Matière y S. Lestrade

La nueva pasarela de Tours es una estructura de ingeniería civil, suspendida entre el cielo y el agua, de una longitud de 235 m, sin ningún apoyo intermedio. La anchura útil de tres metros, brindará a los usuarios un confort óptimo, que les permitirá apreciar la excepcional arquitectura aérea, fina y transparente. Esta estructura corresponde a una tecnología innovadora en la que se aplica un cable único central, soportado a su vez por dos mástiles metálicos del tipo "viga escala", estabilizada por dos cables laterales, y realizada por un entablado de madera de superficie antideslizante y protegida por barandillas laterales metálicas.

Esta estructura, implantada en un medio urbano sensible, se ha ejecutado según la carta "obras limpias" que tienen por meta, principalmente, respetar y proteger a los usuarios y a las poblaciones circundantes. Este enfoque innovador, se anticipa a las nuevas normativas que entrarán en vigor en 2002.

Les matériels et matériaux utilisés en travaux souterrains

■ VISUALISER LE SOUS-SOL URBAIN EN 3D

Dans le cadre de ses programmes de recherche et développement, le BRGM développe une gamme de logiciels adaptés aux besoins de la connaissance du sous-sol. Parmi ceux-ci, GDM est directement applicable aux travaux souterrains : il permet de gérer et représenter les données du sol et du sous-sol en trois dimensions.

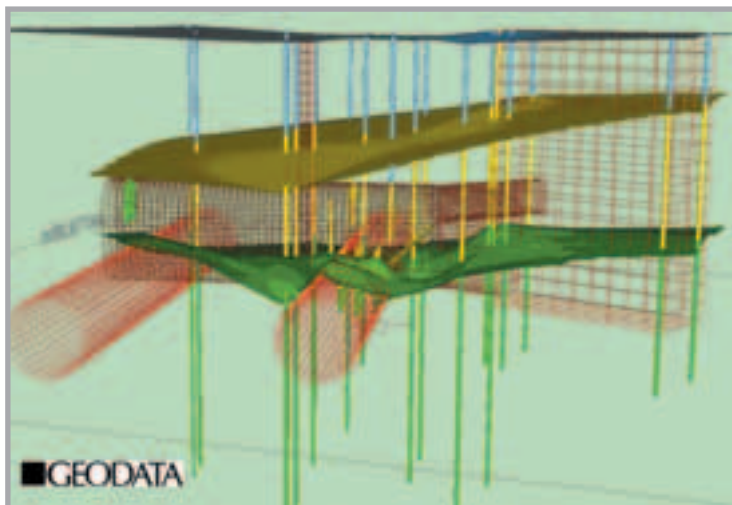
Avec GDM, il est possible de prévoir, en tout point de la ville, quelle succession de terrains (nature et profondeur de chaque terrain) sera rencontrée lors de la réalisation d'un forage, d'une tranchée pour des fondations ou pour une voie de circulation, d'un tunnel. L'introduction de toute nouvelle information dans la base de données permet d'augmenter la précision des modèles du sous-sol calculés par le logiciel. Les données du sous-sol sont ainsi capitalisées et mises à la disposition de l'ensemble des acteurs concernés.

GDM est déjà utilisé par les villes de Paris, Moscou, et Séoul, et plusieurs villes en France et à l'étranger projettent actuellement de l'acquérir. Il est aussi utilisé dans le cadre de l'aménagement urbain ou régional par des sociétés publiques ou privées.

Souple et facile à utiliser, GDM est un logiciel sous Windows qui a été spécialement conçu pour gérer et représenter les données du sol et du sous-sol en trois dimensions et qui permet de :

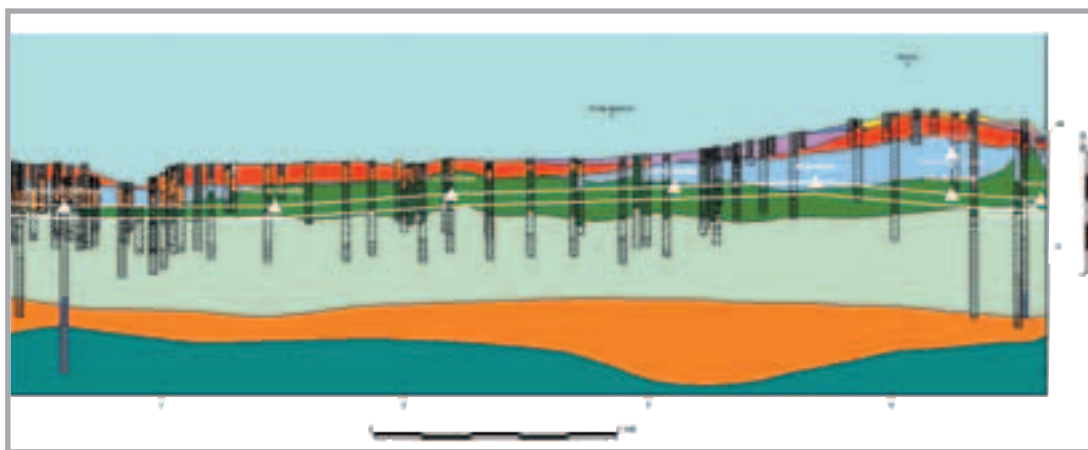
- ◆ stocker, classer, retrouver les données :
 - quel que soit leur type : sondages, contours géologiques et topographiques, échantillons, niveaux de nappes, ouvrages souterrains (canalisations, tunnels) ou de surface (rue, tramway),
 - quelle que soit leur forme : textes de description, résultats d'analyses, mesures géophysiques, photographies, plans scannés ou digitalisés,
 - et quel que soit leur nombre ;
 - ◆ produire des graphiques de qualité à partir de ces données : cartes, sections verticales, rectilignes ou suivant un tracé donné, logs de sondages ;
 - ◆ modéliser la forme des différentes couches de terrain :
- sur cartes et sur sections,
 - de façon automatique (interpolation) ou manuelle (digitalisation à la souris),
 - en montrant à la fois les données brutes, le modèle des couches de terrain et les ouvrages existants ou en projet.

L'IGC (Inspection Générale des Carrières - Mairie de Paris) utilise GDM pour gérer une base de 8000



BRGM - A Paris, sur la ligne de métro n° 1 Vincennes-Neuilly, un profil géologique prédictif a été réalisé avec GDM

Dans le cadre du projet Eole, la société Geodata a utilisé GDM pour modéliser l'intersection des tunnels du RER parisien avec les couches de terrains rencontrées dans le quartier de la rue Papillon



sondages décrivant la géologie du sous-sol parisien. Ces données ont été importées dans GDM à partir de la banque de données du sous-sol du BRGM. Avec GDM, l'IGC peut fournir sous différentes formes, pour tout point de la ville de Paris, des informations sur la succession verticale des terrains dans les cinquante premiers mètres du sous-sol :

- ◆ logs des sondages les plus proches du point donné ;
- ◆ coupes verticales montrant les données brutes et/ou un modèle des couches géologiques "tranchées" par chaque coupe. Ces coupes peuvent être rectilignes (définies par deux points), ou peuvent suivre un tracé quelconque comme par exemple celui d'un ouvrage de surface (rue, pont) ou souterrain (ligne de métro) ;
- ◆ cartes en courbes de niveaux des altitudes/profondeurs/épaisseurs des différentes formations rencontrées, ou des nappes d'eau.

Grâce à son interface Windows, GDM s'intègre à

► l'environnement informatique existant. Sur le terrain, il permet d'acquérir et de représenter des données à l'aide d'un PC portable. Au bureau, il peut communiquer avec les bases de données centrales et les autres logiciels.

Avec GDM, la 3^e dimension de la ville devient ainsi accessible à un large public : entrepreneurs de travaux souterrains, décideurs, responsables de services techniques des villes...

→ **Contact** : Jacques Bobillier, **BRGM**
Tél. : + 33 02 38 64 30 14 - e-mail : gdm@brgm.fr

■ ENGIN DE DÉMOLITION ELECTRO-HYDRAULIQUES

Les engins **Brokk**, dans la gamme de 360 à 4400 kg, principalement destinés aux travaux de démolition, sont également utilisés en travaux souterrains. Ils sont particulièrement intéressants pour leur encombrement réduit et leur rapport poids/encombrement/puissance.

La commande à distance autorise en toutes circonstances à l'opérateur une conduite souple, précise et confortable, tout en lui permettant une visibilité totale de son travail.

Chaque engin peut être équipé d'outils standard tels que marteau hydraulique (jusqu'à 500 kg), godet (jusqu'à 250 litres), cisaille ou encore fraise de rabotage utilisée pour les travaux de réalésage de galerie.

Le nouveau modèle, le 180, de moins de 2 t et de 80 cm de largeur, est en mesure de travailler à une hauteur de 4,5 m avec un outil de 200 kg. Cette machine est proposée avec une variante équipée d'un bras télescopique.

En plus de références telles que le tunnel de Toulon, les lignes Météor et Eole, le CERN et la réhabilitation de différents tunnels routiers ou ferroviaires, on peut citer les réalisations en cours :

◆ **Aiguille du Midi** : l'ensemble des travaux représentait un volume d'excavation de 600 m³, avec le creusement d'une salle de 60 m² et de 4 m de hauteur ainsi que l'alésage de certaines galeries existantes pour faciliter le passage. Compte tenu des contraintes telles que l'altitude de travail (3780 m)

Engin de démolition électro-hydraulique Brokk



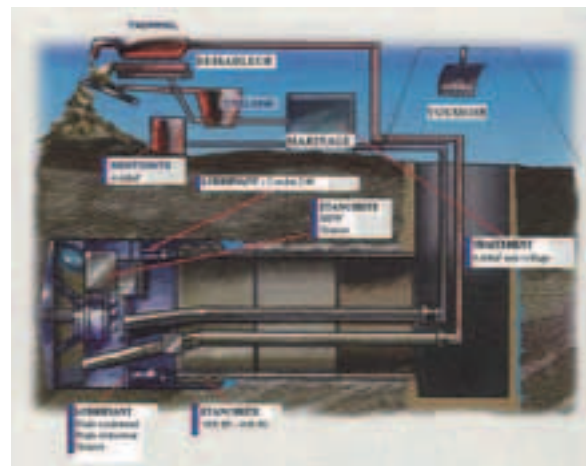
et de l'exiguïté des lieux, le Brokk 150 équipé d'un marteau de 200 kg s'est révélé parfaitement adapté ;

◆ **tunnel du Mont-Blanc** : excavation de niches de 2,5 x 1,5 x 1,2 m à l'aide d'un Brokk 330 équipé d'un marteau hydraulique de 400 kg. Le temps nécessaire pour la réalisation d'une niche était de deux postes en moyenne.

Deux machines Brokk 330, de faible encombrement, sont actuellement utilisées pour la réalisation des carnaux de désenfumage de 3 x 2,5 x 2 m.

→ **Contact** : **ATC BTP** - J.-P. Vautrin
Tél. : + 33 03 29 39 03 90

■ LUBRIFIANTS ET ADDITIFS POUR TRAITEMENT DE TERRAIN



Condat - Schématisation du tunnelier pression de terre avec le lieu et rôle des produits consommables nécessaires

Depuis 1854, le groupe Condat conçoit et fabrique des produits chimiques spécialisés.

Sa gamme complète de lubrifiants s'adresse à de nombreux métiers, que ce soit dans les domaines de la maintenance, de l'usinage, des traitements thermiques, de la déformation à chaud et à froid, des mines, de la sidérurgie ou encore des tunneliers.

La politique d'assurance qualité mise en place a permis d'obtenir dès 1989 la certification ISO 9002 puis ISO 9001 en 2000. La certification ISO 14001, relative à l'environnement, a été obtenue en 1998. Dès la mise en place du projet du tunnel sous la Manche en 1989, le département tunnelier s'est investi dans la conception de lubrifiants et de produits spécifiques adaptés aux équipements de ce métier.

La gamme s'enrichit régulièrement de nouveaux produits qui permettent de suivre, voire d'anticiper, les avancées technologiques. Ces produits répondent, grâce à leurs propriétés physiques et chi-

miques adaptées, aux importantes contraintes liées au métier du tunnel :

◆ **environnements hostiles** (pressions élevées, présence d'eau, charges et contraintes mécaniques élevées, résistance au mortier de remplissage) ;

◆ **impératifs écologiques** : les machines travaillant souvent à proximité des nappes phréatiques, l'utilisation de produits biodégradables doit souvent être mise en œuvre afin d'éviter la pollution environnementale ;

◆ exigences de **sécurité** : les risques encourus lors de travaux souterrains sont importants, en particulier les risques d'incendie, c'est pourquoi Condat a mis au point une gamme complète de produits difficilement inflammables pour les tunneliers.

En outre, Condat a développé une gamme complète d'additifs pour le traitement des terrains, que ce soit pour les tunneliers à pression de terre ou à pression de boue.

Ces traitements ou conditionnements de terrains nécessitent une bonne connaissance des conditions géologiques rencontrées (granulométrie, nature du matériau, teneur en eau, acidité du terrain etc.). Le choix des produits étant très important dans ce domaine, le laboratoire Condat permettra de guider le client en lui indiquant le ou les produits les mieux adaptés aux contraintes rencontrées.

Des innovations importantes ont également été faites dans le domaine des tunneliers au rocher. Elles portent principalement sur le nettoyage de la tête et les traitements anti-poussière.

■ APPLICATIONS DES MATÉRIAUX COMPOSITES DANS LE DOMAINE DES OUVRAGES SOUTERRAINS DESTINÉS À L'EAU ET À L'ASSAINISSEMENT

Fabrication et matières premières

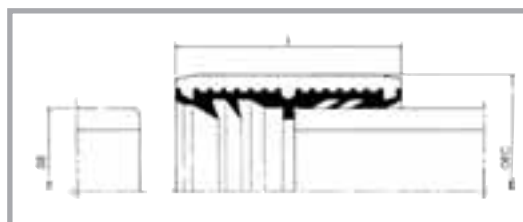
La fabrication des tuyaux PRV Hobas est basée sur la centrifugation de résine polyester, de fibres de verre, et de charges (essentiellement du sable de quartz).

La centrifugation automatisée permet d'une part d'obtenir, grâce à la force centrifuge (d'environ 5 MPa), une remarquable compacité de la paroi, et d'autre part, de produire grâce à l'automatisation, des tuyaux d'épaisseurs variables dont la composition et l'orientation des fibres de verre sont adaptées à chaque application (remblais, charges routières, pressions internes/externes, poussée axiale).

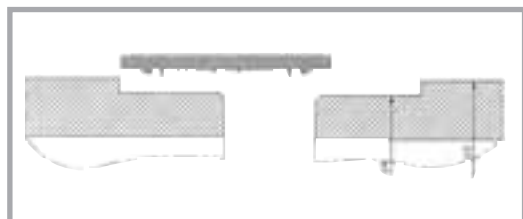
Les tuyaux PRV Hobas sont fabriqués dans la gamme de diamètres s'étendant de DN 150 à DN 2700. Les pressions nominales s'échelonnent couramment de PN 1 à PN 16.

L'assemblage étanche entre deux tubes consécutifs est réalisé par emboîtement dans un manchon. Il existe deux types de manchons :

◆ manchons débordants avec léger encombrement extérieur ;



◆ manchons non débordants sans encombrement extérieur.



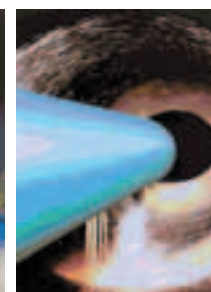
Ils trouvent leur application dans le domaine des travaux sans tranchée par tubage de canalisations d'eaux usées gravitaires ou sous pression.

Légèreté, longueur adaptable à la demande, résistance à la corrosion, résistances longitudinale et transversale élevées sont les qualités indispensables à la rénovation par tubage de réseaux dégradés.

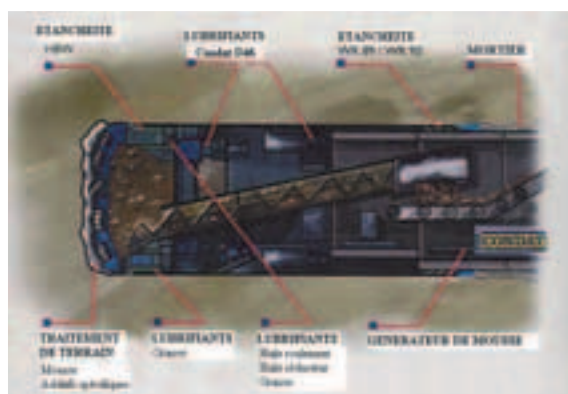
Le faible coefficient hydraulique du PRV ($k = 0,01$ mm) permet, malgré la réduction de diamètre in-



Matières premières



Centrifugation



Condat - Schématisation du tunnelier pression de boue

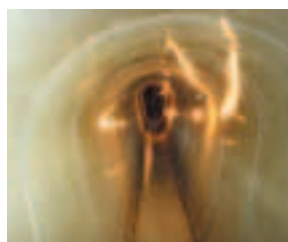
→ Contact : **Condat** - Département TMSI
Tél. : + 33 04 78 07 38 45
Fax : + 33 04 78 07 37 67
e-mail : tmsi@condat.fr
internet : www.condat.fr



▶ hérent au retubage, de conserver un débit satisfaisant par rapport à l'ancien, voire même supérieur.

Tubage de collecteurs visitables non circulaires par coques préfabriquées

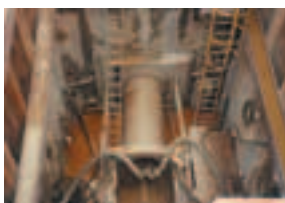
Les coques en PRV sont fabriquées sur mesure par la technique des couches sandwich. Dans les conditions de mise en œuvre difficiles que représentent les égouts (étroitesse, milieu humide, sombre), elles offrent une solution prête à l'emploi, de panneaux légers (manu-portables dans bien des cas), non déformables sous poids propre (pas de formes à donner), pouvant supporter eux-mêmes, les charges de pression d'injection et les charges verticales et de nappe phréatique.



Romainville



Saint-Cloud



Marseille sous voies SNCF



Mise en œuvre par microtunnelier, forage ou fonçage

L'existence de manchons non débordants et la possibilité de surépaissir pour un même moule de centrifugation les parois des tubes permet de réaliser une gamme complète de tubes susceptibles d'être mis en œuvre par les techniques de micro-tunnelage, forage et autres fonçages. Le principal intérêt de ces tubes est, notamment en phase d'exécution, leur grande résistance en compression (deux fois supérieure aux tuyaux traditionnels à épaisseur égale) couplée à un coefficient de sécurité très conservatif (3,5). Une de ces conséquences est qu'à force de poussée admissible équivalente, la section hydraulique d'un tube en PRV est supérieure à celle d'un tuyau traditionnel.

→ Contact : Jean-Marie Joussin - **Hobas**
Tél. : + 33 01 34 35 66 10
Fax : + 33 01 34 35 08 58
e-mail : jeanmarie.joussin@hobas.com

■ COLBOND GEOSYNTHETICS

La société Colbond Géosynthetics, nouvelle nomination de la société Akzo Nobel Géosynthetics, fabrique trois gammes de produits dédiés au bâtiment et aux travaux publics :

- ◆ la gamme **Enkadrain**, pour le drainage des eaux le long de toutes parois enterrées (soubassement de bâtiments, ouvrages d'art tels que tranchées couvertes, ponts, etc.);
 - ◆ la gamme **Enkammat**, pour la lutte contre l'érosion et la protection des berges;
 - ◆ la gamme **Enkagrid**, pour le renforcement de remblai, et la réalisation de murs en terre végétalisés.
- L'utilisation de produits Enkadrain en travaux souterrains n'est pas récente, mais aujourd'hui la gamme s'est étoffée pour notamment satisfaire les besoins en drainage sous couche de forme par exemple, ou en radier drainant.

Les **Enkadrain** sont dimensionnés en fonction des débits à drainer, mais aussi des sollicitations diverses (résistances aux agressions chimiques telles que des eaux aux pH élevés avec des corps drainant en PEHD par exemple) et peuvent être fabriqués en différentes largeurs (de 1 m à 5 m de large). Ils répondent ainsi aux exigences de mises en œuvre de la profession.

Sur le site de la tranchée couverte de Saint-Barnabé à Marseille, le géocomposite drainant Enkadrain E 8004H a été mis en place en substitution de 25 cm de matériau granulaire drainant afin de reprendre les remontées potentielles de la nappe phréatique.

→ Contact : Alain Erault - **Colbond Geosynthetics**
Tél. : + 33 01 49 46 24 30
Fax : + 33 01 49 46 24 35
e-mail : alain.erault@colbond.com
internet : www.colbond.fr



■ RÉPARATIONS D'ÉGOUTS PAR PROJECTION DE MORTIER RENFORCÉ DE FIBRES

De nos jours, la rénovation d'une structure en béton ou en briques signifie conserver un patrimoine essentiel avec des techniques efficaces et des produits durables. Les structures concernées ont souvent été construites à la fin du XIX^e siècle comme des tunnels, des ponts, des piles, des châteaux d'eau et des égouts visitables. De nombreuses villes en France ont un important réseau d'égouts pour eaux pluviales et usées.

Différentes techniques sont aujourd'hui disponibles suivant la structure à réparer et le niveau de dégradation. Le béton projeté est utilisé entre autres pour des structures souterraines que ce soit en neuf ou en réparation. Le renfort métallique de ces bétons peut être un renfort classique type béton armé ou bien un renfort par des fibres métalliques. Au début des années 1980, Saint-Gobain PAM avait développé en collaboration avec Saint-Gobain Recherche, la fibre métallique amorphe Fibraflex commercialisée aujourd'hui par la société Saint-Gobain Seva et utilisée en partie comme renfort dans des mortiers projetés de réparation.

Ces fibres se présentent sous la forme de rubans très fins, disponibles sous différentes tailles (longueur variant entre 5 et 30 mm, largeur entre 1 et 1,6 mm et épaisseur autour de 30 µm). Les caractéristiques principales de cette fibre sont les suivantes :

- ◆ une excellente résistance à la corrosion : Fibraflex est utilisée sans dommage dans des ambiances très agressives comme les bords de mer ou les réseaux d'assainissement ;
- ◆ une grande souplesse : Fibraflex peut être utilisée avec des matériels standards sans risque d'endommagement au cours d'opérations comme le malaxage, le pompage ou la projection ;
- ◆ une forte résistance mécanique : Fibraflex utilisée dans des proportions et des conditions adéquates permet de remplacer avantageusement une armature type treillis soudé tout en réduisant les effets de la fissuration de retrait ou dus à des efforts mécaniques ;
- ◆ une grande finesse : Fibraflex permet d'obtenir un matériau fibré homogène avec au minimum 150 000 fibres au kilo (valeur dépendant de la taille de fibre utilisée).

Les techniques de projection

Deux techniques différentes de projection de béton ou mortier sont utilisées :

- ◆ la plus ancienne est la voie sèche utilisée dans des domaines nombreux et variés comme les tunnels, les stabilisations de talus, les fondations de mines... Ce procédé permet d'obtenir un matériau très compact sur des épaisseurs supérieures à



10 cm mais génère de la poussière et des pertes de matériau de l'ordre de 30 % en partie à cause des rebonds ;

- ◆ le procédé le plus récent est la voie mouillée, venant directement des mortiers du bâtiment. Il permet de travailler "proprement" en limitant la quantité de pertes à moins de 5 % et est aujourd'hui le moyen idéal de projeter des mortiers dans des structures étroites et restreintes telles que les égouts visitables, les aqueducs, les galeries d'eau, etc.

Saint-Gobain Seva est aujourd'hui membre de l'association Asquapro, dont le but essentiel est l'obtention de bétons et mortiers projetés de qualité que ce soit au niveau de la formation des équipes, de la sécurité des ouvriers, de la formulation réalisée, des techniques de mise en œuvre ou de caractérisation du résultat obtenu.

Utilisation des mortiers projetés renforcés de fibres Fibraflex

C'est une technique de réparation facile à utiliser, économique, mécaniquement efficace et durable. Traditionnellement, un treillis soudé est utilisé pour réduire les problèmes de fissuration. Ce procédé est souvent difficile d'utilisation notamment pour des galeries étroites et tortueuses. Sa fixation est un travail technique et coûteux demandant de la

main d'œuvre qualifiée. De plus, projeter une épaisseur assurant plus au moins bien l'enrobage des aciers, réduit la section de passage des fluides. L'utilisation de fibres pendant le malaxage, le pompage et la projection n'altère pas les équipements même standards (rotors ou pistons). Les distances de pompage sont de l'ordre de 50 m avec des diamètres de tuyaux de 35 et 50 mm. Grâce à leurs caractéristiques, les fibres permettent d'obtenir un mélange intime de béton préalablement "armé", adhérent et mécaniquement efficace. Elles permettent également de supprimer l'épaisseur d'enrobage et donc de réduire la quantité de mortier à projeter. Cette projection sur des épaisseurs de l'ordre de 5 à 6 cm est réalisée en supprimant l'opération de pose de l'armature préalable et permet donc de gagner un temps précieux et de l'argent sur la réalisation globale du chantier.

La durabilité signifie qu'il faut choisir les matériaux adéquats, résistants chimiquement comme en particulier des matériaux inoxydables. Les fibres Fibraflex résistent à toute attaque acide ou basique. De nombreux formulateurs proposent également aujourd'hui des produits prêts à l'emploi à projeter contenant déjà la fibre et assurant une formulation optimisée sans erreur de dosage possible. Un exemple est l'Emaco S170 CFR produit par la société Mac Spa en Italie, filiale du groupe MBT.

C'est vers 1987 que la technique a commencé à être réellement utilisée et plusieurs égouts ont été réparés à l'époque avec des mortiers renforcés de Fibraflex. Une surveillance régulière de ces ouvrages est effectuée de manière à en connaître l'évolution dans le temps et en conditions réelles. Les résultats de ces inspections (visuelles et avec analyses) montrent que ces structures sont intactes, sans fissure, ni trace de rouille ou autre effet de dégradation.

→ *Contact* : Hélène Francy-Chausson

Saint-Gobain Seva

Tél. : 03.85.47.25.88

Fax : 03.85.47.25.99

e-mail :

Helene.francy-chausson@saint-gobain.com

internet : www.fibraflex.com

■ L'EXPÉRIENCE DU TERRAIN AU SERVICE DE LA CONCEPTION, L'INNOVATION AU SERVICE DU TERRAIN

Spécialisée dans le domaine de la géophysique, Idetec couvre deux axes de travail : **la recherche et le développement** assurés par un bureau d'études composé d'électroniciens et de mécaniciens ; **les études de terrain** développées par des équipes de géologues et des membres du bureau d'études. L'entreprise assure la conception d'appareils robustes et simples d'utilisation ainsi que des prestations de service adaptées aux besoins réels des chantiers tout au long d'un projet de terrassement à ciel ouvert ou en souterrain :

- ◆ des sismographes et des sondes de diaggraphie conçus et fabriqués en France, garantissant une qualité et une maintenance privilégiée ;
- ◆ des prestations de service complètes : mesures sur site, rapport d'étude des vibrations (seuils et charges admissibles, loi de propagation...), installation de surveillance de vibrations (respect des critères), étalonnage des appareils et des capteurs sur un banc de test interne, suivi géologique, suivi de chantiers, élaboration de plans de tirs, dossiers de récolement, contrôle externe ou extérieur de chantier, reconnaissance du sol par diaggraphie pour le choix du tracé, contrôle du respect des prescriptions sur les vibrations pendant les travaux, étude de l'impact des vibrations minages sur l'environnement.

Diaggraphie microsismique et gamma-ray

Caractérisation *in situ* des massifs rocheux : compacité, fracturation.

Dans le cas des tunnels et des ouvrages souterrains, ces mesures effectuées dans des sondages horizontaux ou verticaux vont apporter des réponses aux problèmes suivants :

- ◆ estimation des volumes de rocher compact à très compact pour l'extraction desquels l'entreprise devra utiliser des moyens mécaniques très puissants ou des explosifs ;
- ◆ prévision des difficultés d'exécution liées à la structure géologique : anisotropie, hétérogénéité, contrastes de compacité ;
- ◆ optimisation des plans de tir.

Vibrations minages

Une large gamme d'appareils de mesures des vibrations apporte la solution à tous les problèmes liés au minage :

- ◆ étude et surveillance de l'impact des vibrations transmises par le sol sur l'environnement et les structures ;



◆ optimisation des plans de tir par détermination des anomalies dans la séquence.

ATV15, véritable laboratoire d'étude des vibrations portable et autonome, permet sur le terrain de mesurer, enregistrer, visualiser, traiter numériquement et imprimer les signaux. ATV15 a permis toutes les études d'impact prévisionnelles sur le TGV Méditerranée, l'enregistrement et l'étude des tirs d'essais sur la gare souterraine de Monaco, sur le tunnel du Mont-Blanc...

La gamme SCS est plus adaptée à la surveillance des travaux de minage grâce aux versions 1, 2, 5 capteurs tridirectionnels et à la sortie immédiate des valeurs crêtes. Ainsi, trois SCS15 ont permis de surveiller le respect du CCTP lors des travaux de minage du tunnel du Mont-Blanc. Lors des travaux du TGV, le tunnel de Marseille a nécessité plus de 50 capteurs et dix SCS15 placés sur les habitations à l'aplomb des fronts de tir.

Les versions digitales des SCS, grâce au stockage des signaux complets dans un bloc mémoire amovible, présentent les avantages des appareils de surveillance et ceux des appareils d'étude en traitant les signaux *a posteriori*.

→ Contact : **Idetec**

Tél. : + 33 04 42 51 57 13

Fax : + 33 04 42 58 42 29

e-mail : idetec@wanadoo.fr

■ L'ENREGISTREMENT DES PARAMÈTRES DE FORAGE

Depuis de nombreuses années, les maîtres d'œuvres en matière de tunnels ont compris qu'il était techniquement souhaitable et économiquement rentable d'essayer de gérer le risque géologique durant les travaux par des forages de reconnaissance de petit diamètre à l'avancement, accompagnés d'un enregistrement systématique des paramètres de forage.

En effet, les contraintes de mise en œuvre, le temps de réalisation et les coûts associés sont compatibles avec la bonne marche de ce type de chantier.

Les principaux paramètres enregistrés sont la vitesse instantanée d'avancement (VIA), la pression sur l'outil (PO), la pression de frappe (PF) et le couple de rotation (CR).

La société LIM SA, conçoit, fabrique et commercialise une vaste gamme d'enregistreurs de paramètres de forage et d'injection.

La dernière génération d'appareillages (Foralim 4G) pour la reconnaissance à l'avancement présente de nombreux avantages parmi lesquels :

◆ écran graphique monochrome 1/4 VGA rétro-éclairé (-10°/+60° C) pour une bonne visibilité en tunnels et un affichage des courbes en temps réel en option ;

◆ mémoire interne non volatile de 2 Mo (1850 m de forage pour quatre paramètres) ;

◆ technologie innovante du bus de données au format CAN permettant l'évolutivité des performances de l'appareil ;

◆ résistance et étanchéité en milieu difficile ;

◆ impression des données en temps réel sur une imprimante haute définition (640 dpi) en option ;

◆ visualisation des données en temps réel sous forme de courbes sur l'écran graphique 1/4 VGA rétro-éclairé en option ;

◆ traitement des données de forage sous environnement PC Windows par le logiciel FORAMIG 3 Windows.

Les dernières références chantiers sont :

◆ tunnel du Lötschberg (Suisse) ;

◆ tunnels TGV Coréen (High Speed Train project - Corée) ;

◆ tunnels A43 en Maurienne (France) ;

◆ tunnel de Ramsgate (Grande-Bretagne).



→ Contact : **LIM**

Tél. : + 33 04 72 14 68 3

Fax : + 33 04 72 37 72 76

e-mail : sales@limgeo.com



LES SOLUTIONS SIPLAST D'ÉTANCHÉITÉ ET DE DRAINAGE DES OUVRAGES ENTERRÉS

Pour des raisons d'environnement (bruit, paysage...), les infrastructures routières ou ferroviaires sont de plus en plus souvent enterrées. Les ouvrages sont alors souvent réalisés en décaissant le terrain, puis en remblayant une fois l'ouvrage assemblé ou coulé *in situ*. Pour être durablement efficaces, ces tranchées couvertes nécessitent le recours à des étanchéités et des drainages appropriés, tels ceux proposés ci-après.

L'étanchéité

Les tranchées couvertes ne sont pas visées par la réglementation sur l'étanchéité des ouvrages en béton armé (ouvrages d'art ou ponts) fascicule 67 - Titre I. Par contre, en 1992, le fascicule 67 - Titre III "Etanchéité des ouvrages souterrains" qui concerne l'exécution dans les tunnels et les ouvrages souterrains des travaux d'étanchéité neufs, a été publié et traite des ouvrages enterrés. Cette réglementation distingue les ouvrages creusés (tunnels) où seules les géomembranes synthétiques (PVC ou ECB) de 1,5 mm d'épaisseur et translucides sont admises, et les ouvrages exécutés en tranchées puis remblayés – les "tranchées couvertes". Pour ces dernières, trois techniques sont actuellement acceptées :

- ◆ les géomembranes synthétiques de 2 mm d'épaisseur ;
- ◆ les résines ;
- ◆ les feuilles en bitume polymère, soudées en adhérence sur la dalle supérieure.

Dans cette dernière catégorie, Siplast dispose de produits largement utilisés depuis de nombreuses années en ouvrage d'art :

◆ **Parafor Ponts** : il s'agit d'une feuille d'étanchéité monocouche en bitume élastomère-SBS, armée d'un polyester 180 g/m². Afin de répondre à des prescriptions précises en zone enterrée, et en particulier dans le cas de tranchées recouvertes de végétations proches de l'étanchéité (pas de couche de remblai intermédiaire), Siplast a d'ailleurs créé une version Parafor Ponts AR, dans laquelle est ajouté un agent anti-racine. Après soudage en pleine adhérence sur la dalle supérieure, le Parafor Ponts est protégé, soit avant remblaiement par un géotextile antipoinçonnant de résistance au poinçonnement statique (NFP 84-507) supérieure ou égale à 0,6 (NF P 84-507) ou 1,7 kN (NFG 38-019)

type Géofelt 700, soit directement par une couche d'enrobés de 30 mm d'épaisseur minimum ;

◆ **Paraforix** : cette feuille d'étanchéité en bitume-élastomère SBS est destinée à recevoir une protection de 25 mm d'asphalte gravillonné type AG3 (selon fascicule 10 de l'Office des Asphaltes), l'ensemble constituant un complexe bicouche d'étanchéité ;

◆ **Teranap 431 TP** : avant la réglementation du fascicule 67 Titre III, et depuis plus de 15 ans, Siplast a développé une solution en indépendance par géomembrane en bitume élastomère-SBS de 4 mm d'épaisseur, protégée par un géotextile Géofelt. Les premières utilisations de Teranap 431 TP ont concerné les ponts-voûtes en maçonnerie. En effet ces ouvrages coupent souvent des axes uniques de transport dans des villages, et il est délicat de décaisser l'ouvrage jusqu'à la voûte ou de couler une dalle béton en partie haute. Siplast a alors proposé et obtenu l'accord du Setra pour la technique Teranap 431 TP, dite d'étanchéité intermédiaire (note d'information 01 d'octobre 1986 confirmée par le Guide technique de mai 1992).

Fort de cette expérience, lorsque les ouvrages voûtes et conduits préfabriqués se sont développés, Siplast a adapté cette solution à ces ouvrages neufs (par exemple tous les ouvrages voûtes de l'A39 Dôle/Bourg-en-Bresse).

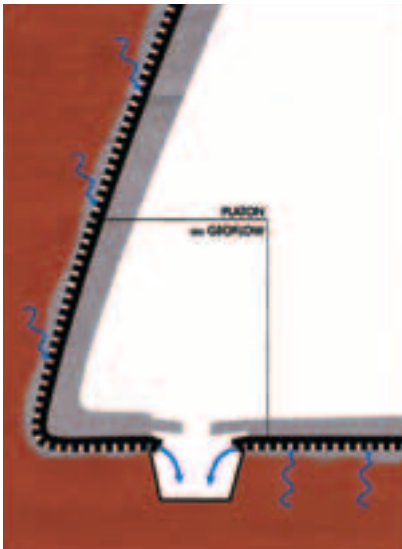
C'est ainsi que parallèlement aux applications en étanchéité d'ouvrages hydrauliques (en particulier dans de nombreux bassins autoroutiers et pour des ouvrages situés dans la nappe phréatique ou sous pression hydraulique) Siplast a été conduit à proposer la solution Teranap 431 TP en étanchéité de radier, donc en cuvelage.

Par exemple, le parking de Sète, situé sous le port, a été étanché en partie haute à l'aide de la géomembrane bitumineuse Teranap 431 TP collée au bitume à chaud et protégée par des dalles béton. Depuis douze ans, aucune fuite n'a été constatée sur cet ouvrage très "sensible", ce qui démontre la performance du procédé.

Autre référence, à Singapour, un cuvelage de plus de 80000 m² a été réalisé à l'aide du Teranap 431 TP ; dans ce cas l'étanchéité a été compartimentée par des bandes d'arrêt d'eau Terastop compatibles avec le bitume.

Le Teranap 431 TP a de plus fait l'objet d'un avis d'expert du groupe de travail n° 9 de l'AFTES concernant les utilisations :

- ◆ en structure voûte hors pression ;
- ◆ en sous-face de radiers des structures intégrées ;
- ◆ en sous-face des radiers des structures réali-



Drainage interne de tunnels sur voûte et sous radier



Passage Puymorens Siplast Teranap



Tranchée couverte d'Avignon 30000 m² Siplast Teranap

Tableau I Transmissivité selon NFG 38-018 (l/s/ml) :

Charge appliquée (kPa)	50	200	400
GEOFLO™ PLATON DOUBLE DRAIN			
Plaque rigide / mousse (gradient = 1)	0,8	0,38	0,13
Plaque rigide / plaque rigide (gradient = 1)	0,61	0,49	0,16
	7	0,17	

sées en cadre avec ou sans emprise. Cet avis d'expert a été obtenu après examen d'un dossier étayé et suivi étroit du chantier de la tranchée couverte du TGV Méditerranée à Avignon.

La SNCF a d'ailleurs pris en compte cet avis d'expert et agréé la solution Teranap 431 TP pour les ouvrages la concernant.

Parmi les différentes solutions d'étanchéité proposées par Siplast, il est clair qu'en dalle horizontale supérieure, l'étanchéité en pleine adhérence (type Parafor Ponts ou Paraforix) présente une sécurité nettement supérieure aux solutions d'étanchéité posées en indépendance. Néanmoins, dans le cas de voûte, où la soudure en adhérence est quasiment impossible, et sous radier, la géomembrane bitume-élastomère Teranap 431 TP constitue une alternative très intéressante, rustique à mettre en œuvre et tolérante.

Le drainage

Dans ces mêmes ouvrages enterrés, il faut également drainer les venues d'eau et les eaux de surface, afin d'éviter les conséquences des pressions hydrostatiques qu'elles pourraient entraîner. Le groupe de travail n° 9 de l'AFTES a ainsi récemment publié (TOS mai/juin 2000) des recommandations sur l'étanchéité et le drainage souterrain. Après avoir défini les termes de géospaceur, de géocomposite de drainage, de cerce et de lisse, ce document explicite les différents types de drainage qui peuvent être envisagés : drainage ponctuel, provisoire ou définitif, drainage de surface.

Siplast propose deux types de produits en nappes pour le drainage des ouvrages enterrés :

◆ le **géospaceur Géoflow** grille de polyéthylène tri-dimensionnelle avec ou sans filtre de surface (épaisseur 5 mm) ;

◆ le **géospaceur Platon**, plaque embossée de polyéthylène, complétée par un non-tissé contrecollé dans la version Platon Double Drain.

Bien que destinés tous les deux au drainage, ces deux produits ont chacun leurs avantages :

◆ Platon constitue une barrière quasi continue au passage de l'eau et participe à la protection de la paroi ; Platon Double Drain présente de plus une très forte capacité de drainage sous charge limitée ;

◆ Geoflow est un géospaceur sans fonction de barrière à l'eau ; il permet le passage de l'eau des deux côtés, et est quasiment incompressible.

Les performances de transmissivité, déterminantes pour des produits de drainage, sont reportées sur le tableau I.

→ **Contact** : Benoît Steiner - **Siplast**

Tél. : + 33 01 40 78 35 44

Fax : + 33 01 45 80 12 17

e-mail : bsteiner@siplast.fr

■ A86 : CHANTIER SOCATOP

Dans le cadre de l'aménagement de l'A86 et du début de creusement du tunnel Rueil-Malmaison par un tunnelier mixte (pression de terre pression de boue), Sotres vient d'achever le montage et les essais des appareils de traitement des 2200 m³/h de boues de marinage nécessaires au bon déroulement des travaux. L'installation largement dimensionnée, comprend les principaux ensembles suivants :



◆ **préparation et stockage de la boue neuve** :

- 2 silos de 100 m³ pour le stockage de la bentonite en poudre,

- 2 préparateurs à boue de 7 m³ assurant la préparation de 80 m³/h de boue,

- 2 bassins de 450 m³, diamètre 10 m pour le stockage de la boue neuve ;

◆ **dessablage de la boue de marinage** (dans un bâtiment couvert et isolé avec protection acoustique) :

- 2 scalpeurs de 1.100 m³/h chacun,

- 4 cuves de reprise des passants du scalpage avec 4 pompes 8'' alimentant les 8 cyclones 675 de cyclonage primaire,

- 4 cuves de reprise du cyclonage primaire avec 4 pompes 8'' alimentant les 8 batteries de 12 cyclones, 176 de cyclonage secondaire,

- 8 essoreurs n° 5 pour l'égouttage des soverses du cyclonage primaire et secondaire,

- 2 cuves reprenant les filtrats des essoreurs du cyclonage primaire et secondaire avec 2 pompes 8'' alimentant les 2 batteries de 16 cyclones 176 du cyclonage des filtrats,

- 2 essoreurs n° 5 pour l'égouttage du cyclonage des filtrats ;

◆ **stockage des boues de marinage** :

- 2 bassins de 1.500 m³, diamètre 20 m avec agitateurs pour les boues dessablées,

- 2 bassins de 1.500 m³, diamètre 20 m avec agitateurs pour les boues corrigées ;

◆ **régulation de la densité des boues de marinage** :

- dispositif de mesure en continu de la densité des boues,

Programmation du système DSL 2

La conception du plan de tir est réalisée par ordinateur à l'aide de logiciel dédié avant le tir.

Il n'est pas nécessaire que la console de programmation soit connectée aux détonateurs à ce stade.

L'utilisateur est guidé dans la réalisation du plan de tir. Des outils de simulations sont également à sa disposition.

Une fois sur le pas de tir, le plan de tir est déchargé vers la console de tir, qui transmet ensuite quelques minutes avant le tir les retards à chaque détonateurs.

Quand les détonateurs sont programmés, chargés et testés, l'opérateur envoie le signal de tir à partir de la console.

A cet instant tous les détonateurs deviennent indépendants et commenceront à décompter le temps avant leur mise à feu.

Les **avantages** sont les suivants :

- ◆ fiabilité et une sécurité renforcée;
- ◆ meilleur contrôle de la fragmentation;
- ◆ optimisation du contrôle des vibrations;
- ◆ meilleur contrôle de l'énergie injectée dans le massif;
- ◆ meilleur contrôle du découpage;
- ◆ stockage simplifié.

Les **applications** sont multiples par rapport à un système d'initiation classique. L'apport de la précision de la mise à feu ainsi que de la souplesse d'utilisation permet en association avec la puissance de logiciels spécialisés (contrôle des vibrations, calcul de séquence de mise à feu), d'optimiser le travail des charges explosives et d'ouvrir de nouvelles voies jusque là méconnues.

L'optimisation de la **sécurité** est sans nul doute le point le plus important. L'utilisation de système d'initiation électronique permet d'accéder à de nombreux aspects supplémentaires de sécurité :

- ◆ lors des phases de chargement tous les détonateurs sont identiques;
- ◆ les connexions sont réalisées à l'aide de connecteurs étanches détrompés;
- ◆ avant toute opération de mise à feu, le terminal de supervision diagnostique toutes les erreurs éventuelles (erreur de connexion, sectionnement des câbles, nombre de systèmes dans la chaîne, validité des systèmes, etc.).

La programmation ainsi que la gestion des toutes les opérations de contrôle s'effectue au poste de tir.

L'initiation du tir ne peut avoir lieu que si toutes les opérations de contrôle se sont avérées positives, les ratés éventuels ne sont dus alors qu'à une défaillance du détonateur électrique instantané.

La gestion de l'initiation garantit la sécurité d'initiation du tir; tous les systèmes sont autonomes

après avoir reçu l'ordre de tir et détonent conformément à la séquence de mise à feu programmée. La simplicité de programmation et de câblage ainsi que la conception d'un plan de tir à l'aide de système d'initiation électronique peuvent également être considérés comme un apport vis-à-vis de la sécurité. En effet, les travaux délicats nécessitent des solutions souvent complexes non seulement sur un plan théorique mais surtout sur un plan pratique (répartition des numéros de détonateurs, câblage délicat des lignes de l'exploseur séquentiel, etc.).

Gestion des vibrations

Un des avantages incontestés de l'utilisation de systèmes d'initiation électronique est axé sur l'optimisation des nuisances vibratoires. Les opérations de minage en souterrain nécessitent des séquences de mise à feu importantes (de l'ordre de plusieurs secondes).

Compte tenu de la gestion des retards avec une utilisation de détonateurs standards (retards pyrotechniques), la précision n'est jamais garantie et la probabilité de chevauchement, donc d'accroissement des nuisances sismiques, devient non négligeable.

En outre, la souplesse de programmation (de 1 à 10000 millisecondes par pas de 1 milliseconde) permet, un fois couplée à l'utilisation de logiciels de calcul et d'analyse des enregistrements sismiques, d'optimiser la séquence de mise à feu tir pour les tirs futurs.

Les gains attendus portent directement sur l'amplitude ainsi que sur le contenu fréquentiel des enregistrements sismiques. Les premiers essais ont permis de déterminer un écart de plus de 20 %.

Gestion blocométrique

La conséquence directe d'une meilleure gestion de la séquence de mise à feu, est perçue au niveau de la blocométrie. L'optimisation de la fragmentation découle d'une amélioration de la séquence de mise à feu. Ainsi, l'énergie explosive participe essentiellement à la fracturation du matériau, les traumatismes dans les zones situées au niveau du prédécoupage sont minimisés. Un gain non négligeable est cette fois visible dans le poste relatif au béton projeté.

Vers le tir du futur

Un exemple récent dans l'automatisation totale des procédés d'extraction du minerai dans une mine canadienne (projet de recherche INCO au Canada), a prouvé que l'avenir se dirige vers :

- ◆ une foration robotisée (déjà utilisée dans de nombreux projets souterrains) qui permet un contrôle total des trous de mine en azimut et en inclinaison



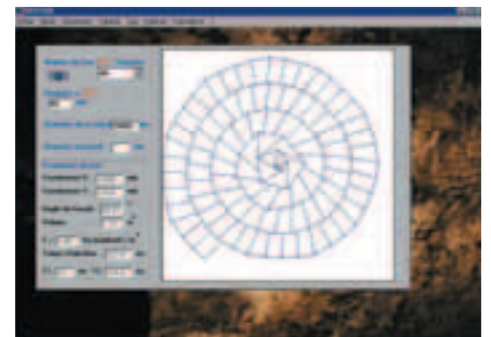
Détonateur DSL2 V2000.
Lors des phases de chargement tous les détonateurs sont identiques



Les connexions sont réalisées à l'aide de connecteurs étanches détrompés



Boîtier de tir et terminal de supervision.
Avant toute opération de mise à feu, le terminal de supervision diagnostique toutes les erreurs éventuelles



Optimisation de la séquence de mise à feu à l'aide de logiciels de calcul et d'enregistrements sismiques

- ▶ ainsi qu'un stockage en format numérique des données de forage ;
- ◆ un contrôle automatique du chargement des explosifs ;
- ◆ la mise en place de systèmes d'initiation électronique avec programmation et déclenchement à distance depuis un poste de tir ;
- ◆ un marinage entièrement automatisé ;
- ◆ une projection de béton, elle aussi automatisée, grâce au couplage de profilomètre laser qui corrige automatiquement les sous-profils et les hors profils ;
- ◆ une centralisation des données recueillies à chaque étape du processus pour un contrôle total permettant ainsi une rétroaction plus efficace.

→ Contact : Ph. Dozolme

Delta Caps International

Tél. : + 33 04 97 25 76 76

Fax : + 33 04 49 75 57 76 79

e-mail : p.dozolme@deltacaps.com

internet : www.deltacaps.com

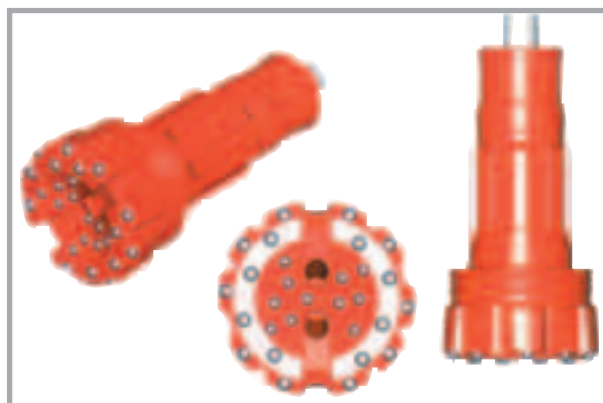
■ **DATC GROUP**

DATC Group est une société spécialisée dans la fabrication de consommables de forage déclinés en cinq familles :

- ◆ famille 1 : carottage diamanté ;
- ◆ famille 2 : forage au marteau "fond de trou" ;
- ◆ famille 3 : forage au marteau "hors trou" ;
- ◆ famille 4 : forage des terrains de surface ;
- ◆ famille 5 : forage à la rotation.

DATC propose donc une gamme complète de produits de forage fabriqués à Besançon, afin de répondre aux applications aussi variées que la géotechnique, les fondations, le forage en carrière, le forage minier, le forage d'eau...

DATC met à la disposition de ses clients un catalogue unique dans ce métier à l'image de son leadership sur le marché français. Ce document de plus de 500 pages se veut d'être au quotidien un outil de travail nécessaire à la sélection des consommables de forage.



En ce début 2001, les dernières nouveautés de DATC sont :

- ◆ famille 1 : carottiers au câble - BQ - NQ - HQ, carottiers échantillonneurs par battage, tiges CR60, carottiers pressiométriques IPC-60/IPC-64 ;
- ◆ famille 2 : marteau de 1" avec taillants de 64 mm et 66 mm, marteau de 10" ;
- ◆ famille 3 : taillants et tiges R28 - R32 - R38 - T45, clés de vissage et dévissage ;
- ◆ famille 4 : tubes, couronnes et outils pour la méthode OD, tubage à l'avancement par la méthode "Symmetrix" ;
- ◆ famille 5 : forage à la rotation, tricônes, clés de vissage et dévissage.

DATC propose également tout type de fabrication spéciale pour forages : micropieux, tubages, outils de repêchage, fraise de nettoyage. DATC met à la disposition de ses clients ses compétences en usinages, métallurgies, traitement anti-usure...

DATC travaille non seulement en France, mais aussi dans toute l'Europe, en Afrique (Maroc, Algérie, Sénégal, Ethiopie, Zambie...), au Moyen-Orient (Iran, Jordanie, Syrie...), et en Asie du Sud-Est (Hong Kong, Taïwan...).

→ Contact : **DATC** - Parc La Fayette

25000 Besançon - France

Tél. : + 33 03 81 41 06 06

Fax : + 33 03 81 41 30 33

E mail : datc@datc-group.com

■ **ATLAS COPCO ET LES TRAVAUX SOUTERRAINS**

Atlas Copco propose un large éventail de matériels destinés aux travaux souterrains pour les applications de forage à l'explosif avec la gamme des Boomer.

A côté de ces matériels, on trouve les machines spécialisées pour le boulonnage (Boltec), pour la production en souterrain (Simba), la gamme de marteaux perforateurs à main et les boulons d'ancrage Swellex qui assurent un confortement immédiat de la roche. Enfin, les machines de Raise Boring et la gamme des Scooptram "Wagner" font également partie des produits fabriqués par le constructeur suédois.

Boomer

La gamme Boomer comprend des matériels de forage avec un, deux et trois bras avec ou sans nacelles et disposant de différentes variantes avec les bras, glissière et marteaux de la gamme Atlas Copco.

Cette gamme a vu l'arrivée de nouveaux modèles depuis juin 1998 avec l'introduction des Boomer L2C et M2C. Respectivement prévus pour des sections maximales de 90 et de 45 m² avec deux bras

(nacelle en option), ils intègrent une nouvelle technique pour une meilleure qualité de forage et plus de productivité.

Les grandes lignes :

- ◆ matériel de conception modulaire ;
- ◆ réseau de type Can-Bus pour un câblage simplifié avec un système d'auto-diagnostic d'aide à la maintenance et possibilité d'obtenir l'enregistrement de tous les paramètres de forage dans le cadre de l'option MWD (Measure While Drilling) ;
- ◆ marteaux de type COP 1838 d'une puissance de 20 kW pour de plus fortes vitesses de pénétration ;
- ◆ système de commande ergonomique avec cabine d'un grand niveau de confort : panel de commandes et version avec siège ergonomique avec commandes intégrées dans les accoudoirs ;
- ◆ possibilité de niveau d'automatisation variable : de la version avec commandes directes, au mode avec assistance jusqu'au tout automatique.

Les versions trois bras ont suivi avec trois variantes : L3C en version standard avec les bras de type BUT 35 avec deux autres variantes : XL3C et WL3C. La variante XL3C est la variante "Eagle" avec plus de capacité en hauteur, la variante W étant un nouveau concept permettant d'augmenter considérablement la capacité de forage en largeur.

Le projet phare de l'année pour Atlas Copco Forage et Démolition a été la forte implication de la société auprès du groupement Bouygues - Dumez - Impregilo lors de la réalisation des travaux de rénovation du tunnel du Mont-Blanc.

Quatre machines Atlas Copco ont été en opération tout au long de ce chantier complexe dans son organisation : 43 carneaux de désenfumage à réaliser, une vingtaine de nouveaux abris (38 m² et moins de 20 m en général), des niches (une tous les 100 m) et tout cela le long des 6 km de la concession française d'ATMB.

Matériel Atlas Copco utilisé :

- ◆ deux Rocket Boomer de type L2C ;
- ◆ un Rocket Boomer de type 352S ;
- ◆ un Boomer de type 281-1B.

Les trois premières unités étaient équipées de marteaux de type COP 1838. Ces marteaux, d'une puissance de 20 kW ont permis des vitesses d'avancement entre 2 m/mn et 2,5 m/mn en diamètre 48 mm dans le granite dur du Mont-Blanc. Pierre Le Sinq directeur du projet confirme : *"les performances des marteaux COP 1838 sont impressionnantes dans le granite du Mont-Blanc. Les L2C se sont avérés être le choix approprié pour réaliser ce chantier complexe : la bonne compacité du matériel nous a permis de maintenir un trafic dans le tunnel lors de opérations de forage et la maîtrise de la profondeur de forage nous a permis d'optimiser le minage particulièrement pour les carneaux"*. Ces machines ont été utilisées dans leur version "ABC Regular". Cette version prévoit la réalisation des plans de tir sur PC enregistrés ensuite sur une carte PCMCIA et intégrés alors dans le système du



Boomer. Précisons que ce chantier a accéléré l'introduction du programme de boulonnage avec assistance : les machines bénéficiaient ainsi pour la réalisation des carneaux de désenfumage de l'assistance de l'ordinateur de bord (en forage vertical).

Enfin, le Boomer 281-1B, machine simple mais avec la facilité de la cinématique de bras Atlas Copco permettait de faire le boulonnage et servait également de machine d'appoint sur le chantier.

A noter que pour ce chantier, Atlas Copco a réalisé une prestation complète : location de matériel avec contrat de service avec support technique sur toute la durée du chantier et suivi des outils de forage Secoroc. Des boulons Swellex ont également été utilisés, notamment dans la galerie de visée à l'entrée du tunnel.

Boltec et boulonnage Swellex

Les Boltec permettent la mise en place automatique des boulons d'ancrages. Ils permettent de rassembler les différentes tâches sur un seul outil et de donner plus de rendement et de sécurité lors des opérations de boulonnage.

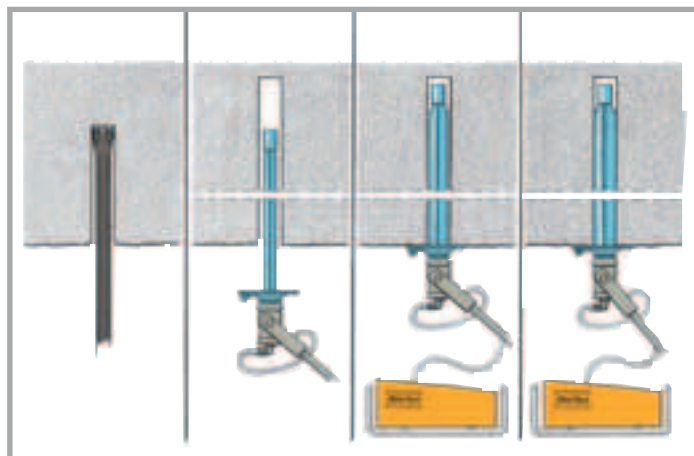
La gamme comprend plusieurs porteurs et ensembles de forage/boulonnage en fonction des hauteurs de voûte et des longueurs de boulons à poser.

Trois Boltec de type 435 SH terminent actuellement le chantier de Markusbiert au Luxembourg dans le cadre de l'association momentanée des sociétés Demathieu et Bard, Razel, Pérard et Baatz.

Ces trois Boltec posent des boulons Swellex de type EXL de 4 m de long. Deux machines côte à côte permettent de réaliser des rendements de l'ordre de 25 à 30 boulons à l'heure en toute sécurité. Dans le cadre de ce chantier, plus de 40000 boulons auront été posés par le couple Boltec/Swellex démontrant encore une fois les atouts de cette association.

La gamme des boulons Swellex se compose des





versions EXL (100 kN), Midi (120 kN) et Super (200 kN). Le boulon Swellex est un boulon d'ancrage ponctuel gonflable avec une pompe haute pression.

Le gonflage du boulon est réalisé en 20 secondes environ et permet d'assurer immédiatement le confortement nécessaire.

→ Contact : Benoît Etienne
Tél. : + 33 01 39 09 32 24

■ ALKOR DRAKA : CERN - PROJET LHC - ÉTANCHÉITÉ DES DEUX PUIITS DU LOT N° 2

Présentation

Le CERN entreprend actuellement la réalisation d'un nouvel accélérateur de particule, le LHC (Large hadron Collider). Les installations de celui-ci vont utiliser largement les infrastructures aériennes et souterraines abritant le LEP (Large Electron Positron accelerator). Cependant, des nouvelles structures additionnelles sont nécessaires en plusieurs endroits. Les travaux de génie civil ont été divisés en trois lots. Le lot 02, correspondant au point 5 de l'anneau du LEP, est situé en France, près du

Photo 1
Vue générale
du puits PX 56
et du dispositif
de congélation



village de Cessy dans le pays de Gex. Il consiste en la construction de deux vastes cavernes, divers tunnels et galeries, ainsi que deux puits de grandes dimensions reliant les cavernes à la surface. Les cavernes sont destinées à abriter un nouveau détecteur d'une taille sans précédent (Compact Muon Solenoid ou Détecteur CMS). Le lot 02 est attribué au groupement d'entreprise Dragados Seli.

Contexte géologique

Les cavernes sont creusées dans des roches molassiques. La couverture rocheuse au-dessus du toit des cavernes est de 20 m, surmontés par 55 m de moraine composée de sable, graviers et limons saturés d'eau. Les puits traversent la moraine et rejoignent les cavernes.

Le puits PX 56 relie la caverne du détecteur avec le bâtiment de surface. Son diamètre est de 22,25 m et sa profondeur d'environ 75 m. Le puits PX54, qui relie la caverne auxiliaire à la surface, a la même profondeur et un diamètre de 13,25 m.

Les travaux de creusement, mise en œuvre de l'étanchéité et bétonnage des voiles résistants des puits s'est fait après congélation des sols (photo 1).

Étanchéité des puits

Compte tenu de la géologie du site, une étanchéité par géomembrane a été mise en place sur deux niveaux distincts : une première zone sur en-

Photo 2
Pose de la géomembrane dans le puits PX 56



viron 45 m de haut et une deuxième zone de 8,5 m en partie basse.

Le dispositif d'étanchéité est constitué par :

- ◆ un drainage par lisses drainante en Delta MS 8 et 20 mm ;
- ◆ un géotextile non tissé aiguilleté en polypropylène de 500 g/m² ;
- ◆ une géomembrane PVC Alkorplan® 35041 d'épaisseur 2 mm. Celle-ci est conforme aux spécifications du projet qui demande une géomembrane avec couche signal de 2 d'épaisseur. Ce type de géomembrane est utilisé de façon classique en Suisse, Allemagne et Autriche. Le principe de la couche signal consiste à avoir une couche mince de couleur claire, différente de la masse principale de la géomembrane de couleur sombre. Cette couche est disposée du côté exposé aux agressions. En cas de poinçonnement, et si la couche signal est endommagée, cet incident est signalé par l'apparition d'une tache de couleur sombre correspondant à la masse de la géomembrane. Ce dispositif ne fonctionne que si la couche signal est suffisamment mince (70,25 mm) et que l'agression se traduit par un impact suffisamment large : une coupure par un instrument tranchant n'est généralement pas facile à détecter. Ce dispositif est différent de celui utilisé habituellement en France et prescrit par le fascicule 67 titre III, constitué par une géomembrane translucide en PVC de 2 mm d'épaisseur et une feuille de protection de 1,7 mm d'épaisseur. Ce dernier système, d'introduction plus récente que la couche signal, permet un contrôle visuel des soudures et offre plus de résistance au poinçonnement, du fait de l'épaisseur globale de PVC presque double, mais est plus onéreux, à la fois en fourniture et en mise en œuvre.

Mise en œuvre de la géomembrane

La mise en œuvre de la géomembrane a été faite par EI GCC. Compte tenu des délais très courts disponibles pour cette phase du chantier, l'entreprise a opté pour une à partir d'une nacelle volante. Cette solution était possible car l'entreprise d'étanchéité était la seule à intervenir sur cette zone de travaux à cet instant.

Les rouleaux de géotextiles et de géomembrane ont été déroulés à partir d'un palonnier, lui-même accroché à un treuil fixé en tête du puits et commandé directement depuis la nacelle de travail (photo 2 et figure 1). Les lés de géotextile et de géomembrane sont fixés horizontalement en tête. Les géotextiles sont en outre fixés par point suivant deux lignes verticales par des rondelles de PVC spittées sur le béton du soutènement provisoire. La géomembrane est fixée par soudure sur ces rondelles, puis les lés sont soudés entre eux par double soudure.

Le contrôle de la continuité des soudures est fait



Photo 3
Bétonnage du puits PX 54
après mise en œuvre de l'étanchéité

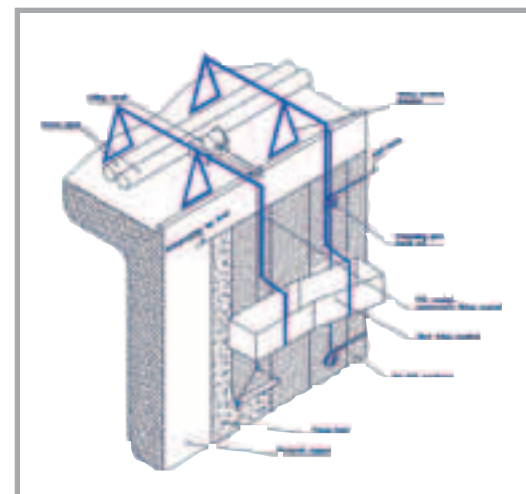


Figure 1
Principe de pose du dispositif d'étanchéité

par mise en pression de toutes les doubles soudures à l'air comprimé.

Le bétonnage des voiles intérieures des puits est réalisé par coffrages glissants après finition de l'étanchéité complète d'un puits (photo 3).

Cette technique de mise en œuvre a permis de réaliser l'étanchéité de chaque puits dans les délais très courts qui étaient requis pour ces phases du chantier.

→ Contact : D. Fayoux - Alkor Draka -
(Groupe Solvay)
Tél. : + 33 01 41 84 30 10
P. Aillaud - EI GCC - Tél. : +33 04 72 36 11 22

■ ARCANE SOUTÈNEMENTS ACIER

A la demande de ses clients, Arcane réalise de nombreuses structures en acier, en marge de son activité traditionnelle de fabricant de cintres pour tunnels.

Bien entendu, ces structures sont liées au métier d'Arcane et sont destinées pour une large part aux travaux en souterrain mais également à d'autres spécialités du génie civil telles que la construction de ponts ou de superstructures spécifiques.

L'ensemble de ces travaux nécessitent un savoir-faire important en terme de soudage. Celui-ci a été développé au sein d'Arcane afin de pouvoir répondre à toutes les demandes.

En plus du contrôle interne réalisé pour toutes nos fabrications, certaines constructions spécifiques font l'objet de contrôles extérieurs réalisés par des

Arcane - Un escalier circulaire permet le montage du tunnelier de Socatop



Passerelle piétonne de 36 m passant au-dessus de l'autoroute des plaines à Tahiti



Escaliers d'accès à cette passerelle

bureaux spécialisés pour le compte de ses clients. Non seulement fabricant et fournisseur, Arcane réalise dans de nombreux cas les plans d'exécution et même les notes de calcul afin d'aider ses clients à trouver la meilleure solution à leurs problèmes. Ceci est le cas lorsque l'entreprise propose des variantes.

Parmi nos réalisations la plus récentes, il y a lieu de noter :

- ◆ le bâti de poussée et l'anneau de lancement pour le tunnelier de liaison Auteuil - Saint-Cloud et l'intercepteur de Colombes;
- ◆ le bâti de poussée et l'anneau de lancement pour le collecteur de Pantin La Briche;
- ◆ les trois anneaux de démarrage pour le tunnelier du Groene Hart Tunnel mis en œuvre par Bouygues TP aux Pays Bas;
- ◆ des structures métalliques et des escaliers pour le groupement Socatop et les puits d'aération du tunnel de l'A86;
- ◆ des radiers de guidage dans les procédés d'AUTORIPAGE® de ponts (JMB Méthodes) comme pour le pont de 6500 tonnes à Rouen sur la ligne SNCF Paris - Le Havre;

- ◆ des passerelles métalliques comme celle reproduite sur la photo ci-jointe.

→ **Contact : Arcane** - M. Camporelli
Tél. : + 33 01 45 26 64 39

■ CAP - LE PILOTAGE AUTOMATIQUE DES TUNNELIERS

Créé au cours de la réalisation des tunnels de Villejust sur la ligne du TGV Atlantique en 1987-1988, le **logiciel de pilotage automatique des tunneliers** assure un fonctionnement optimal de ces machines complexes.

Il a accumulé à ce jour une expérience de plus de dix ans.

Son utilisation sur une vingtaine de machines a été mise à profit pour tester et vérifier différents principes et modes de fonctionnement des tunneliers et pour affiner les lois de commande et de régulation des différentes fonctions de la machine.

Outil d'expertise, il participe très efficacement à la compréhension du fonctionnement des différents types de tunneliers et à la détermination de leurs capacité et limite d'utilisation respectives.

Les tâches habituellement confiées au pilote automatique sont les suivantes :

- ◆ commande des pressions dans les vérins de poussée pour le guidage de la machine;
- ◆ choix de la vitesse de rotation du disque de coupe pour optimiser rendement des outils d'abattage;
- ◆ maintien de la pression de confinement dans la chambre d'abattage;
- ◆ optimisation de la vitesse d'avancement en fonction des capacités de la machine selon le terrain rencontré.

Le logiciel s'adapte à chaque tunnelier, à confinement gazeux, liquide ou pâteux, dans toute la gamme des diamètres (3,50 m pour un collecteur parisien, 5,70 m pour le métro de Copenhague, 7,60 m pour le métro de Rennes, 9,40 m pour le métro du Caire, 11,60 m pour le tunnel de l'Ouest parisien A86). Il est généralement associé :

- ◆ à un programme de navigation aidant à l'établissement des consignes de guidage;
- ◆ à une chaîne d'acquisition de données.

La conduite des tunneliers assistée par ordinateur, est déjà un fait!

→ **Contact : CAP** - Gilles Piquereau
Tél. : + 33 (0) 1 69 33 20 59
Fax : + 33 (0) 1 60 19 00 18

Le point sur la sécurité dans les tunnels routiers

La Direction des Routes du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement précise les mesures mises en œuvre au cours des deux dernières années et celles à venir afin d'améliorer la sécurité des usagers dans les tunnels routiers.

Immédiatement après la catastrophe du tunnel du Mont-Blanc, un diagnostic des 39 tunnels de plus d'un kilomètre de long a été lancé sous l'égide d'un comité d'évaluation mis en place au niveau national et constitué d'experts de l'Administration et d'organismes extérieurs. Ce comité a formulé en juillet 1999 un ensemble de recommandations.

Là où cela s'est avéré nécessaire, des mesures provisoires d'exploitation (interdictions aux matières dangereuses ou aux poids lourds, régulation du trafic notamment) ont été prises pour assurer la sécurité dans l'attente de la réalisation des aménagements recommandés. Aujourd'hui, dans la grande majorité de ces tunnels, des études ou des travaux sont en cours. Il est toutefois rappelé que les travaux en tunnels nécessitent des études complexes et que leur réalisation peut durer plusieurs années.

Parallèlement à ce diagnostic et à la mise en œuvre des premières mesures d'urgence, la réglementation applicable a été entièrement revue et a fait l'objet d'une circulaire interministérielle le 25 août 2000 qui a largement pris en compte les recommandations de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (rapport établi par le député Christian Kert).

Cette nouvelle réglementation a institué un comité national d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers. Elle prévoit en outre :

- ◆ l'examen de tous les ouvrages dans un délai de 3 ans. Dans ce délai, le comité d'évaluation doit examiner tous les ouvrages d'une longueur comprise entre 300 mètres et un kilomètre déjà ouverts à la circulation publique. Pour chacun, un diagnostic de sécurité de l'ouvrage et de son exploitation et, lorsque nécessaire, un programme d'amélioration seront élaborés. Le préfet pourra alors, sur la base de l'avis du comité d'évaluation, prendre la décision de maintenir l'ouvrage ouvert à la circulation publique, ou prescrire des conditions d'exploitation particulières ou encore ordonner sa fermeture.

S'agissant des ouvrages d'une longueur supérieure à un kilomètre, le comité d'évaluation se

prononcera sur le programme d'amélioration élaboré à la suite du diagnostic de 1999 ;

- ◆ l'obligation de procéder à des exercices de sécurité annuels : au moins une fois par an, le maître d'ouvrage de chaque tunnel est tenu d'organiser un exercice de sécurité destiné à tester les consignes d'exploitation et leur mise en œuvre par son personnel. Il doit informer le préfet et l'autorité de police compétente préalablement à cet exercice, et leur en adresser le compte rendu détaillé, exposant le cas échéant les enseignements à tirer et les mesures correctives ;

- ◆ la mise en place d'un système de retours d'expériences (opérationnel depuis le 1^{er} février 2001) : les incidents ou accidents significatifs se produisant dans chaque tunnel doivent faire l'objet d'un rapport d'analyse des circonstances et des conséquences à en tirer, transmis au préfet et au centre d'études des tunnels ;

- ◆ l'obligation pour les nouveaux tunnels de respecter un ensemble de dispositions de sécurité détaillées dans une instruction technique : un dossier de sécurité permettant de vérifier que ces dispositions ont été observées et comprenant notamment une étude spécifique des dangers doit être établi et soumis à l'avis du comité d'évaluation et du préfet ; ces dispositions ont notamment été appliquées dans le tunnel de Foix ;
- ◆ l'instauration d'une autorisation préfectorale préalable à la mise en service : l'ouverture à la circulation publique de tout nouveau tunnel est désormais subordonnée à l'avis du comité d'évaluation et à une décision préfectorale ;

- ◆ le suivi de l'exploitation de tous les tunnels : toute évolution importante ou tous travaux de modification substantielle de l'ouvrage doivent faire l'objet d'une information du préfet qui pourra saisir, s'il l'estime nécessaire, le comité d'évaluation.

S'agissant des moyens consacrés à la maintenance des tunnels en service sur le réseau routier national non concédé, ceux-ci ont été augmentés dès 2000. La dotation annuelle a été portée à 70 millions de francs (contre 42 en 1999 et 26 en 1997).

Par ailleurs, une série de mesures visant à agir sur le comportement des usagers sont à l'étude, dont certaines font l'objet d'expérimentations :

- ◆ la formation au comportement en tunnel (respect des distances) et à la conduite à tenir en cas d'incident ou d'incendie ; cette formation pourrait être inscrite au programme du permis de conduire et aux différents stages existants ;
- ◆ le contrôle automatique des vitesses et des distances avec renvoi de l'information aux conducteurs par panneaux à messages variables ;
- ◆ l'amélioration de la signalisation des dispositifs de sécurité comme les postes d'appels d'urgence, les extincteurs, les abris et les issues de secours ;
- ◆ la mise en place de dispositifs imposant l'arrêt d'urgence des véhicules en cas d'incendie. S'agissant des dispositifs innovants de lutte contre l'incendie au moyen de pulvérisateurs et de rideaux d'eau, ils font l'objet d'un examen à l'échelon international.

Enfin, pour ce qui concerne la réglementation technique des véhicules poids lourds (capacité et tenue au feu des réservoirs de carburant, prohibition de certains matériaux notamment pour les véhicules frigorifiques...), la France a saisi la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies de propositions visant à réduire les risques d'incendie et leurs conséquences. Ces propositions sont en cours d'examen par cette instance.

A côté des mesures indispensables d'équipement des tunnels et d'organisation des secours, le système de sécurité n'atteindra sa pleine efficacité que si les conducteurs respectent les dispositions du Code de la route et notamment les règles d'interdiction d'accès, les limitations de vitesse et l'espacement entre les véhicules.

Concernant certains tunnels évoqués par l'hebdomadaire, quelques précisions sont indispensables. Dans l'attente de la rénovation du tunnel du Chat, et après une concertation avec les transporteurs et la mise en place de déviations à longue distance, déviations qui imposent l'usage des autoroutes, l'interdiction aux poids lourds préconisée par le comité a été mise en œuvre en mars 2000. Néanmoins, il a effectivement été signalé que des poids lourds contrevenaient, de manière exceptionnelle, à cette interdiction de circuler. Les contrôles seront renforcés.

Le tunnel du Fréjus est un tunnel récent dans lequel les abris sont reliés à un cheminement sécurisé permettant l'évacuation des usagers en cas d'accident. D'importantes mesures destinées à renforcer la sécurité ont été mises en œuvre immédiatement après la catastrophe du Mont-Blanc : régulation du trafic à hauteur de 180 poids lourds/heure depuis juillet 2000, date de l'ouverture de la dernière section de l'A43,

mise en convois des transports de matières dangereuses, renforcement des équipements d'intervention à l'intérieur du tunnel, renforcement des équipes de sécurité, détection de la surchauffe des moteurs à l'entrée du tunnel, établissement d'un plan de secours binational...

Un programme de travaux complémentaires comprenant notamment la construction d'abris reliés à la galerie de secours tous les 400 mètres a été élaboré ; les études de génie civil préalables indispensables sont actuellement en cours.

A Lyon, dans le tunnel de Fourvière, les quatre galeries d'intercommunication complémentaires recommandées par les experts du comité d'évaluation ont fait l'objet d'études d'ingénierie détaillées. Les dossiers de consultation des entreprises sont prêts et les crédits en place.

Depuis mars 2000, le tunnel de Sainte-Marie-aux-Mines est interdit aux poids lourds, ce qui réduit considérablement les risques d'incendie. Près de 600 millions de francs de travaux vont être engagés pour la construction d'une galerie parallèle, afin de renforcer la ventilation et de créer un cheminement d'évacuation sécurisé. Une fois ces travaux réalisés, les poids lourds pourront à nouveau être admis dans le tunnel.

Le tunnel du col de Tende a été identifié par le comité d'évaluation comme inadapté à la circulation des poids lourds. La décision a donc été prise par les autorités italiennes et françaises d'établir le cahier des charges de la construction d'un nouveau tunnel. En attendant, les transports de matières dangereuses ont été interdits, la signalisation de la circulation alternée a été renforcée, un dispositif de détection incendie a été mis en place et les agents de la Direction départementale de l'Équipement effectuent des inspections de sécurité quotidiennes. Là encore, les contrôles seront renforcés.

De plus, 140 millions de francs sont inscrits au contrat de plan Etat-région pour renforcer la sécurité et réaliser les travaux les plus urgents dans l'attente de la construction du nouveau tunnel.

Conformément à la recommandation du comité d'évaluation, le système de circulation alternée des poids lourds dans le tunnel du Lioran, qui connaît un très faible trafic, a été renforcé et les transports de matières dangereuses interdits durant l'été. 500 millions de francs ont été inscrits au contrat de plan pour la construction d'un tunnel neuf et un centre de secours sera construit à l'entrée du tunnel.

Le tunnel du Mont-Blanc fait l'objet de travaux considérables engagés, pour près de 1,3 milliard de francs, par des sociétés française et italienne. Ces travaux ont été approuvés par un comité de sécurité placé auprès de la Commission intergouvernementale. Des refuges pressurisés seront construits tous les 300 m, équipés de

moyens de lutte contre l'incendie et reliés à un cheminement d'évacuation sécurisé. Trois postes de secours permanents seront aménagés, au centre et aux deux extrémités du tunnel. Les pompiers seront équipés de véhicules permettant l'intervention dans la fumée.

Une structure commune d'exploitation a été constituée entre les deux sociétés concessionnaires ; les systèmes de gestion technique et les équipements de détection d'incident, de surveillance et de ventilation bénéficieront des technologies les plus performantes.

Un plan de secours binational est en cours d'élaboration et lors du sommet franco-italien de Turin, les deux ministres ont demandé à la commission intergouvernementale d'élaborer un règlement de circulation, avec une régulation technique de la circulation des poids lourds. Il sera soumis à l'approbation des deux gouvernements avant la fin du premier semestre.

Préalablement à la réouverture, des essais approfondis de fonctionnement des installations et de vérification de la maîtrise de l'ensemble de ces dispositifs par les agents d'exploitation et le personnel de secours publics devront être réalisés.

S'agissant du tunnel de l'A86 entre Rueil-Malmaison et Versailles, la largeur des voies permettra la circulation de tous les véhicules légers dans les conditions habituelles, l'absence de poids lourds atténuant considérablement le risque d'incendie éventuel et ses conséquences.

La sécurité sera notablement renforcée par la possibilité de passer d'un niveau à l'autre par des escaliers munis de sas pressurisés, comme dans un tunnel à deux tubes. Le détail des dispositions, et en particulier le nombre de refuges, sera définitivement fixé à l'issue de l'examen, en cours, par le comité d'évaluation des tunnels.

La surveillance continue et la présence de moyens d'intervention permanents et dédiés au tunnel aux deux extrémités permettra de garantir une intervention immédiate en cas d'accident.



Contact :
 Direction des Routes
 Sandrine Gourlet-Dostes
 Tél. : 01 40 81 12 17

Le code des marchés

Serge Rampa



**PRÉSIDENT
DE LA COMMISSION
DES MARCHÉS
FNTP**

Le code des marchés nouveau est enfin arrivé... On l'attendait depuis dix ans...

Il sort sous la forme inattendue d'un décret dont la gestation a été somme toute rapide si l'on veut bien considérer qu'il a été précédé d'un avant-avant-projet, puis d'un avant-projet, puis d'un projet... Lequel a été examiné par la Section administrative de la Commission centrale des marchés, puis par le Conseil d'Etat et enfin publié au Journal Officiel du 8 mars 2001.

Le texte de présentation de l'avant-projet contenait une phrase prometteuse : "*son objet (de la réforme) est d'abandonner la logique souvent vétilleuse de contrôle de la régularité de la commande publique qui avait, par strates successives, imprégnée le code afin de privilégier désormais l'efficacité de l'achat public.*"

Au service de cette nouvelle philosophie, les moyens annoncés étaient les suivants :

- ◆ simplification par fusion des livres II (Etat) et III (Collectivités locales) conduisant à 150 articles au lieu de 399 ;
- ◆ modernisation par rapprochement avec les directives européennes, allègement des textes, prise en compte de conditions sociales et environnementales, encouragement des variantes et informatisation des procédures ;
- ◆ ouverture plus large aux PME.

La fin et les moyens étant définis, voyons ce qu'il en est advenu.

Regardons d'abord la réponse spécifique aux trois objectifs ci-dessus. Nous examinerons ensuite un certain nombre de dispositions qui, bien que n'étant pas énumérées, vont dans la direction du but fixé.

La simplification par fusion des livres II et III

La simplification par fusion des livres II et III que nous demandions depuis fort longtemps a évidemment eu un effet bénéfique sur le volume du code en réunissant la plupart du temps dans un même article deux articles strictement identiques répondant au même objet dans l'un et l'autre livre.

Pour autant, on n'a pu aller jusqu'au bout de cette logique dans les cas où certaines dispositions du code ancien étant du domaine législatif, elles n'ont pu être modifiées par décret.

C'est ainsi par exemple que les seuils pour la procédure de mise en concurrence simplifiée sont différents pour l'Etat (130 000 €) et pour les collectivités locales (200 000 €).

De même de nombreux articles sont alourdis par les distinctions qui doivent être faites entre marché de travaux, de fournitures et de services. Nous demandions que chacun de ces trois types de marché fasse l'objet d'un fascicule distinct, ce qui eut allégé considérablement chacun d'eux. Nous regrettons de ne pas avoir été suivis.

La modernisation

Le rapprochement avec les directives européennes a été souvent pratiqué (dispositions sur les paiements, énumération des justifications possibles des offres anormalement basses, etc.) mais pas toujours...

C'est ainsi que l'adoption de la pondération des critères d'attribution que nous réclamions et qui figure dans la directive européenne n'a pas été retenue au bénéfice d'une "hiérarchisation" dont on ne voit pas très bien comment elle peut permettre un choix objectif de "l'offre économiquement la plus avantageuse", appellation européenne du "mieux-disant".

Nous avons vu, à propos de la fusion des livres, ce qu'il en est de l'allègement des textes.

La prise en compte des conditions sociales et environnementales est - elle - désormais officiellement autorisée mais sans pour autant que l'un ou l'autre soit un critère d'attribution, puisque l'article 14 qui en traite précise qu'elles "*ne doivent pas avoir d'effet discriminatoire à l'égard des candidats potentiels*".

Nous souhaitons quant à nous qu'il en soit ainsi pour les clauses sociales mais pas pour l'environnement qui, de notre point de vue, aurait dû faire partie des critères d'attribution possibles. Les variantes, elles, sont encouragées comme nous le demandions puisque les dispositions du code actuel ont été inversées et qu'elles deviennent autorisées sauf disposition contraire du règlement de l'appel d'offres.

Enfin, nous passerons rapidement sur l'informatisation des procédures, celle-ci nous paraissant inéluctable à terme plus ou moins long compte tenu de la révolution informatique en cours.

L'ouverture plus large de la commande publique aux PME

Elle a été une des dispositions essentielles mises en exergue avant, pendant et après l'élaboration du décret.

Force est de constater qu'il n'y a pratiquement aucune disposition spécifique aux PME mis à part le droit à des acomptes mensuels qui existaient déjà (l'article qui en traite comporte toutefois une intéressante définition de la PME).

Une disposition qui figurait dans l'avant-projet visant à dispenser les PME de retenue de garantie a disparu. Nous ne l'avons pas demandée et ne nous plaignons pas de cette disposition, car cette mesure risquait d'avoir pour effet pervers de faire hésiter les maîtres d'ouvrage à attribuer des marchés à des entreprises ne leur donnant pas de garantie financière.

L'allotissement quant à lui est laissé à l'appréciation du maître d'ouvrage en fonction des avantages qu'il leur procure. Il n'est pas particulièrement encouragé.

Par contre, nous allons voir ci-dessous que de nombreuses dispositions vont être bénéfiques à toutes les entreprises mais plus particulièrement aux PME.

En suivant le nouveau code dans l'ordre des articles, on peut en effet relever de nombreuses novations qui vont dans le bon sens...

Dès le titre I article 1, est tout d'abord énoncé le principe du choix de l'offre économiquement la plus avantageuse, principe qui sera plus loin confirmé par les articles sur la dévolution des marchés. La disparition de l'adjudication comme procédé d'attribution confirme cette tendance lourde qui va tout à fait dans le sens que nous préconisons depuis des années.

Pour la suite et sans que nous soyons le moins du monde exhaustif, nous relevons :

- ◆ **dans le titre II "Principes fondamentaux" :**
 - la réaffirmation à l'article 1 du choix de l'offre économiquement la plus avantageuse,
 - l'allotissement obligatoire des marchés de construction maintenance, qui de ce fait disparaissent, ce que nous regrettons,
 - une première allusion aux délais de "paiement" (et non de mandatement), avancée fondamentale sur laquelle nous reviendrons,
 - le retour de la possibilité de marchés de reconduction, disposition efficace tant pour les donneurs d'ouvrage que pour les entrepreneurs car elle améliore pour les uns et les autres continuité et visibilité;
 - ◆ **dans le titre III "Passation des marchés" :**
 - le relèvement des seuils des marchés sans formalités à 90000 €,
 - la création d'une procédure nouvelle dite "mise

en concurrence simplifiée" possible jusqu'à 130000 € pour l'Etat et 200000 € pour les collectivités.

Ces deux mesures, outre qu'elles vont simplifier la tâche des donneurs d'ouvrage, vont grandement faciliter l'accès des PME et notamment des petites entreprises à des marchés publics pour elles importants,

- la création de "marchés complémentaires" qui permettront de régulariser (jusqu'à 33 % du marché principal) des travaux supplémentaires ou de perfectionnement.

Cette disposition comble un vide juridique existant qui empoisonnait littéralement la phase de règlement définitif des marchés,

- la restitution sans formalité du cautionnement fourni pour l'obtention des pièces de la consultation. Jusqu'à présent cette restitution était conditionnée par la remise d'une offre, ce qui poussait les entreprises à remettre des offres non concurrentielles,

- la justification de la régularité fiscale et sociale par la fourniture d'une attestation sur l'honneur au stade de la remise des offres, puis par des certificats *ad hoc* au stade de la signature du marché. Cette mesure simplifie la vie de toutes les entreprises et en particulier des petites...

- la possibilité, sauf dispositions contraires, de remettre des variantes. Ce qui encourage la capacité d'innovation des entreprises,

- regrettons que le problème du cumul des identifications techniques nécessaires dans les marchés solidaires ne soit pas résolu,

- les critères de choix sont choisis par la PRM en fonction de l'objet du marché. Ceux qui sont cités dans l'article 53 montrent que l'éventail est très large, ce qui facilitera la recherche de l'offre économiquement la plus avantageuse,

- par contre la hiérarchisation de ces critères au lieu de la pondération que nous demandions ne va pas dans le sens de la transparence et de l'objectivité (cf. supra),

- la disparition du quart réservataire des SCOP qui était une anomalie, tant du point de vue de l'éthique des marchés publics que de l'inadéquation de ce quart avec le poids économique des SCOP dans le BTP et de l'inadéquation possible de chaque affaire ainsi attribuée avec les capacités techniques et financières de la SCOP bénéficiaire,

- la prise en compte des offres anormalement basses. Malheureusement, le texte est muet sur leur détection et les éventuelles modalités de celles-ci. Le terme "paraît anormalement basse" ouvre la porte à tous les arbitraires... Pour autant, la détection, si elle n'est pas préconisée, n'est pas interdite et il faudra continuer à nous battre pour introduire un mode de détection objectif,

- les marchés peuvent être déclarés infructueux

de façon discrétionnaire par la PRM "lorsqu'aucune offre ne lui paraît acceptable". Il y a là aussi une porte ouverte à l'arbitraire...

- enfin, et ce n'est pas la moindre des avancées, il est créé un délai global de paiement en lieu de l'archaïque et injuste "délai de mandatement". Pour que cette avancée produise son plein effet, il faut cependant :

- ◆ que les délais, qui sont contractuels, soient encadrés;
- ◆ que le paiement soit clairement défini comme la date d'arrivée de l'argent sur le compte de l'entreprise;
- ◆ que ce paiement intervienne à une date certaine, combinaison d'une date certaine de départ des délais avec le délai lui-même.

Cette disposition établira un équilibre entre les acteurs de l'économie qui sont les personnes publiques et les entrepreneurs, en supprimant les distorsions qui sont actuellement à la limite du démocratiquement supportable.

De plus, elle supprimera un obstacle important, sinon le plus important, à l'accès des PME à la commande publique. Beaucoup d'entre elles hésitent en effet à s'engager dans cette voie par crainte d'insurmontables difficultés financières et de l'impossibilité actuelle de gérer correctement et fiablement leur trésorerie.

De ce qui précède, on peut conclure :

- 1** - Les objectifs que s'est fixé le gouvernement avec cette réforme sont globalement atteints sous réserve de certaines précisions à venir dans les décrets, instructions et circulaires d'application;
- 2** - Nous nous félicitons d'un nombre important d'innovations et d'avancées sous la même réserve que ci-dessus;
- 3** - Notre tâche, dans les mois qui viennent, sera de faire en sorte que les réserves visées ci-dessus soient levées.

Il y a encore du pain sur la planche...



FNTP
 3, rue de Berri
 75008 Paris
 Tél. : 01 44 13 31 44

Comment attirer les jeunes dans les formations aux métiers des Travaux Publics

Rencontres "Découverte des Travaux Publics"

Trois constats conduisent à poursuivre les actions de communication en direction des jeunes, entamées il y a un an autour du slogan "La formation aux métiers des Travaux Publics, ça bouge, ça te change" :

1. Si l'image globale du secteur s'est améliorée, les métiers sont toujours perçus comme pénibles, mal payés et accidentogènes;
2. La croissance économique génère des pénuries de main d'œuvre dans de nombreux secteurs; conséquence, les travaux publics plus encore qu'il y a un an, sont en situation de concurrence avec les autres professions;
3. Le rééquilibrage de la pyramide des âges (âge moyen du salarié TP 44 ans) dans les entreprises ne pourra se réaliser que sur le moyen terme.

D'où la nécessité d'investir dans la durée pour faire bouger la perception qu'ont les jeunes des métiers et ainsi les attirer dans les formations TP et plus globalement pour faire évoluer l'image des Travaux Publics.

Le choix a été fait d'agir au niveau de l'orientation scolaire. L'objectif est d'accroître le nombre de jeunes accueillis dans les formations TP et pour ce faire attirer 5 000 à 7 000 jeunes contre 4 000 aujourd'hui. L'orientation se faisant en classe de 3^e; ce sont donc les élèves de 3^e qu'il faut convaincre.

Pour y parvenir la FNTP a choisi "d'encercler" le jeune :

1. En sensibilisant les professeurs pour qu'ils deviennent des prescripteurs d'orientation vers les formations TP.
2. En tirant parti des liens créés pour être mieux présents dans les collèges.
3. En complétant cette action par des spots de publicité à la télévision de façon à continuer à toucher les élèves mais aussi le grand public, seul moyen pour faire évoluer l'image des Travaux Publics.

Les actions menées se font en coopération les Fédérations Régionales.

Les actions en cours ont été rassemblées sous le titre "Rencontres découverte des Travaux Publics". Trente réunions se sont déroulées jusqu'à la fin mars 2001 permettant la rencontre entre les enseignants des collèges et les professionnels des TP. 2 500 personnes sont attendues. Il s'agit pour notre secteur de se faire connaître :

- ◆ en expliquant ce que l'on fait, nos perspectives, nos besoins en personnel;
- ◆ en racontant nos métiers;
- ◆ en informant sur nos formations.

Pour que l'action porte ses fruits à long terme, le choix a été fait :



- ◆ d'aller sur le terrain en organisant des réunions en région;
- ◆ de rencontrer ceux qui chaque année sont confrontés aux questions d'orientation de leurs élèves : les enseignants et principaux de collège.

Pour faire passer nos messages et gagner en crédibilité auprès du public enseignant qui est un public critique, il a été choisi de privilégier le dialogue :

- ◆ d'une part, en faisant connaître nos valeurs et en exprimant les bonnes raisons d'aller dans les Travaux Publics : travail en équipe, promotion interne, fierté par rapport à l'ouvrage réalisé, utilité pour la collectivité;
- ◆ d'autre part, en pouvant répondre à d'éventuelles critiques et en combattant les préjugés : qu'ils concernent les salaires, la sécurité, le travail précaire ou la dureté des métiers;
- ◆ une série de fiches argumentaires ont ainsi été mises à disposition des représentants d'entreprises qui vont porter la parole des Travaux Publics.

Des outils ont été fabriqués : films, jeu concours pour que les enseignants fassent ensuite passer le message dans leurs classes.

Le déjeuner et la visite de chantiers, qui suivent les réunions, doivent permettre aux deux mondes (éducation nationale et TP) de poursuivre le dialogue.

La réussite de ces réunions ne se mesurera pas seulement au nombre de présents mais aussi au fait que ce premier contact générera d'autres

contacts. Parmi les actions envisagées, voici quelques pistes sur lesquelles travaillent la Fédération :

- ◆ proposer aux professeurs présents qu'un professionnel vienne présenter le secteur dans leur collège;
- ◆ diffuser la cassette vidéo auprès de chaque collège;
- ◆ relancer chaque collège avec le jeu concours;
- ◆ faire un digest des argumentaires préparés pour l'envoyer aux professeurs qui ont l'intention de faire des présentations dans leur(s) classe(s).



Le film publicitaire réalisé il y a un an, sera diffusé en avril. Il permettra de compléter l'action en direction des jeunes et également de toucher les parents et le public institutionnel.

Rencontres "Découverte des Travaux Publics" Participation Globale

	F RTP	Date de la réunion	Nombre total de présents	dont enseignants	dont professionnels TP	dont autres*
1	Rhône-Alpes Lyon	11-jan	100	60	40	
2	Picardie	23-jan	149	115	30	4
3	PACA Le Pontet	2-fév	85	51	25	9
4	PACA Marseille	6-fév	124	85	26	13
5	PACA Antibes	8-fév	118	95	14	9
6	CH. Ardennes	13-fév	196	47	89	60
7	PACA Hyères	13-fév	82	56	20	6
8	Centre Orléans	15-fév	123	78	38	7
9	Franche-Comté	15-fév	150	90	35	25
10	Limousin	15-fév	123	47	45	31
11	PACA Fréjus	15-fév	78	46	22	10
12	BNormandie	22-fév	100	56	44	
13	Pays de la Loire Nantes	22-fév	80	20	30	30
14	Auvergne	27-fév	51	30	20	1
15	LanguedocMontpellier	22-fév	70	35	35	
16	Midi-Pyrénées	22-fév	92	28	47	17
17	Rhône-Alpes Grenoble	27-fév	35	18	17	
18	LanguedocRivesaltes	1-mars	27	8	18	1
19	Pays de la Loire Brain	1-mars	70	9	40	21
20	PACA Digne	6-mars	81	58	21	2
21	Rhône-Alpes	6-mars	50	29	21	
22	Aquitaine	10-mars	206	15	31	160
23	Bourgogne Beaune	13-mars	63	35	28	
24	HauteNormandie	13-mars	123	47	41	35
25	Bourgogne Auxerre	15-mars	40	12	14	14
26	Poitou-CharentesNiort	15-mars	45	20	25	
27	BretagneLorient	23-mars	40	10	25	5
28	Centre Tours	23-mars	102	65	32	5
29	Nord Pas de Ca. Marcq	27-mars	104	74	30	
30	Poitou-CharentesChatelaillon	27-mars	70	38	32	
31	Rhône-Alpes Valence	29-mars	32	17	15	
32	Poitou-CharentesCharentes	4-avr	44	28	16	
	TOTAL		2853	1422	966	465
	Moyenne		90	45	30	15

* autres éducation nationale, centre de formation, administration, journalistes...

F NTP

3, rue de Berri
75008 Paris
Tél. : 01 44 13 31 44